



raké



Ciencia
Tecnología
Innovación

REVISTA CREADA POR EL INSTITUTO DE INNOVACIÓN Y COMPETITIVIDAD

VOLUMEN 1. 2026.

TECNOLOGÍA Y NATURALEZA:

**SOLUCIONES
SOSTENIBLES
PARA UN
PLANETA VIVO**



RAKÉ CIENCIA TECNOLOGÍA INNOVACIÓN.
REVISTA DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN DEL
ESTADO DE CHIHUAHUA.



EDITORIAL

En Chihuahua, hablar de innovación ya no es únicamente hablar de dispositivos, algoritmos o manufactura avanzada: es hablar de supervivencia, de territorio, de futuro. En esta región donde el desierto nos recuerda diariamente los límites ecológicos y la resiliencia de la vida, la relación entre tecnología y naturaleza deja de ser un dilema para convertirse en una misión compartida. Hoy sabemos que la ciencia, la ingeniería y el conocimiento deben orientarse hacia un desarrollo que honre, proteja y regenere nuestro entorno. Esa visión nos ha guiado desde el Instituto de Innovación y Competitividad para impulsar un ecosistema donde el talento de Chihuahua se transforma en soluciones reales para un planeta vivo.

Este volumen de **raké** es un testimonio de esa convicción. A lo largo de sus páginas, investigadores, docentes y estudiantes presentan avances que abarcan desde la producción sostenible de biocombustibles y alternativas de descarbonización, hasta la protección agrícola, el aprovechamiento responsable de recursos naturales y la creación de nuevos materiales que podrán formar parte de una economía circular.

Son reflexiones y hallazgos que nos hablan del Chihuahua que estamos construyendo: un estado que no espera a que el futuro lo alcance, sino que trabaja activamente para diseñarlo.

Desde el Instituto, impulsamos esta visión mediante programas estratégicos que fortalecen la investigación científica, la innovación social y el escalamiento tecnológico. El Fondo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Sistema Estatal de Investigadores y las iniciativas de fortalecimiento académico son parte de una política pública que busca algo fundamental: que las y los chihuahuenses encuentren, aquí mismo, las oportunidades para aportar soluciones a los desafíos globales.

Agradezco profundamente a la comunidad científica del estado por su compromiso y por compartir sus avances con Raké. A través de este espacio, buscamos seguir articulando a academia, industria, gobierno y sociedad para impulsar un modelo de desarrollo donde el bienestar humano y el equilibrio ambiental vayan siempre de la mano.

Desde el Instituto, impulsamos esta visión mediante programas estratégicos que fortalecen la investigación científica, la innovación social y el escalamiento tecnológico. El Fondo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Sistema Estatal de Investigadores y las iniciativas de fortalecimiento académico son parte de una política pública que busca algo fundamental: que las y los chihuahuenses encuentren, aquí mismo, las oportunidades para aportar soluciones a los desafíos globales.

Agradezco profundamente a la comunidad científica del estado por su compromiso y por compartir sus avances con Raké. A través de este espacio, buscamos seguir articulando a academia, industria, gobierno y sociedad para impulsar un modelo de desarrollo donde el bienestar humano y el equilibrio ambiental vayan siempre de la mano.



**MTRO. FRANCISCO JAVIER
TURATI MUÑOZ**

Director General del
Instituto de Innovación
y Competitividad

Gobierno del Estado
de Chihuahua

Créditos
Gobierno
del Estado de
Chihuahua

**Mtro. Francisco
Javier Turati Muñoz**
Director del Instituto
de Innovación y
Competitividad

**Mtro. Omar Guillermo
Miranda Romero**
Jefe del
Departamento
de Innovación y
Emprendimiento

**Dr. Arturo
Castro Rocha**
**COORDINADOR
EDITORIAL**
Departamento
de Innovación y
Emprendimiento

**Lic. Andrea
Alba Acosta**
**SUPERVISIÓN
EDITORIAL**
Departamento
de Innovación y
Emprendimiento

**Lic. Maribel Guadalupe
Figueroa Valenzuela**
DISEÑO EDITORIAL
Comunicación
del Instituto de
Innovación y
Competitividad

* ÍNDICE

Parte I – Del Departamento de Innovación y Emprendimiento del Instituto de Innovación y Competitividad

"Amoniaco verde: transición energética y descarbonización".
Arturo Castro Rocha. Departamento de Innovación y Emprendimiento.
Instituto de Innovación y Competitividad.

5

Parte II - Artículos de la comunidad CTI de Chihuahua

8

"Cultivos más fuertes: protección de la próxima generación para las plantas". Brenda Julián Chávez, Jaqueline Ruiz Madrid, Roberto Nevárez Luna, Stephanie Solano Ornelas, Tania Samanta Siqueiros Cendón, Quintín Rascón Cruz, Luis Ignacio Siané Estrada, Sughey Ramona Sinawaga García, María Jazmín Abraham Juárez y Edward Alexander Espinoza Sánchez.

9

"Entre la esperanza y la complejidad: el reto de los biocombustibles hacia una producción sostenible". Roberto Nevárez Luna, Maribel Mendoza Alatorre, Stephanie Solano Ornelas, Tania Samanta Siqueiros Cendón, Quintín Rascón Cruz, Carmen Daniela González Barriga, Sughey Ramona Sinawaga García, María Jazmín Abraham Juárez, Jorge Ariel Torres Castillo y Edward Alexander Espinoza Sánchez.

13

"Flora de importancia apícola en el desierto chihuahuense". Raymundo René Rivas Cáceres, Luis Quihui Cota, María Elena González Ruelas, Nelly Hostein, Ildelfonso Guerrero Encinas, Gloria Guadalupe Morales Figueroa, Carmen Alejandra Méndez Hurtado, Guillermo Alberto Barraza Garza y José de Jesús Castellón Olivares.

17

"Sargazo: innovación sostenible en Chihuahua". Génesis V. Buitimea-Cantúa, Luis Quihui Cota, Carmen Alejandra Méndez Hurtado, Guillermo Alberto Barraza Garza y Raymundo Rivas Cáceres.

24

"Rescatando a las sandías perdidas en el campo". Daniela Sánchez Aldana Villarruel y Dayanira Morales Corral.

27

"Combustibles hechos de agua, aire y sol". Dana Paola García Hernández, Sofía León Velázquez, Carlos Eduardo Guzmán Martínez y Javier Tovar Facio.

30

"Energía del Futuro: Baterías de Iones Metálicos". Israel Omar Pérez López

34

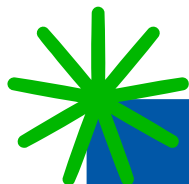
Parte III - Difusión de programas del Instituto de Innovación y Competitividad

40

Sistema Estatal de Investigadores: Impulsando el talento científico de Chihuahua.

41





PARTE I.

Del Departamento de Innovación
y Emprendimiento del Instituto
de Innovación y Competitividad.



MÁS CHIHUAHUA
más de lo bueno
GOBIERNO DEL ESTADO

INSTITUTO DE
INNOVACIÓN Y
COMPETITIVIDAD





Amoníaco

verde:

Transición energética y descarboni- zación

Dr. Arturo Castro Rocha

Departamento de Innovación y Emprendimiento
Instituto de Innovación y Competitividad

El amoníaco (NH_3), históricamente reconocido por su papel fundamental en la agricultura mundial, está emergiendo como un protagonista inesperado en la lucha contra el cambio climático. Durante más de un siglo, el amoníaco ha sido la columna vertebral de la seguridad alimentaria mundial, siendo el componente principal de los fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, su producción convencional, conocida como amoníaco gris o negro, depende fuertemente de combustibles fósiles (gas natural y carbón), contribuyendo con aproximadamente el 1.2% al 2% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO_2)^[3, 7].

En el contexto de la crisis climática actual, ha surgido el concepto de amoníaco verde: amoníaco producido utilizando hidrógeno obtenido mediante fuentes de energía renovable. Este compuesto no solo promete descarbonizar la industria de los fertilizantes, sino que se perfila como un vector energético superior al hidrógeno puro para el transporte a largas distancias debido a su mayor densidad energética volumétrica y facilidad de licuefacción^[5, 2].

Tecnologías de Producción: Más Allá del Gas Natural

La producción de amoníaco verde rompe con la dependencia del reformado de metano con vapor. La ruta principal implica la electrólisis del agua alimentada por energía solar o eólica para producir hidrógeno verde, que luego se combina con nitrógeno separado del aire en el proceso Haber-Bosch^[4]. El proceso Haber-Bosch es el método industrial predominante para la síntesis de amoníaco, el cual combina nitrógeno extraído del aire con hidrógeno. Esta reacción química es exotérmica y se lleva a cabo típicamente en presencia de un catalizador a base de hierro, requiriendo condiciones operativas de alta temperatura (generalmente entre 400 °C y 600 °C) y alta presión (que puede oscilar entre 100 y 250 bar) para optimizar el rendimiento. Históricamente, el hidrógeno necesario para este proceso se ha obtenido principalmente mediante el reformado con vapor de gas natural u otros combustibles fósiles, lo que convierte al método convencional en un proceso intensivo en energía y una fuente considerable de emisiones globales de CO_2 .

Estudios recientes han evaluado sistemas integrados que aprovechan la energía eólica marina (offshore). Estos sistemas, que pueden operar fuera de la red eléctrica (off-grid), incluyen la desalinización de agua de mar como paso previo. Aunque la desalinización representa un consumo energético menor en comparación con la electrólisis, la gestión de la intermitencia del viento requiere sistemas robustos de almacenamiento de energía e hidrógeno para mantener la estabilidad del proceso Haber-Bosch^[4].

Paralelamente, existe una ruta termoquímica alternativa: la valorización de la biomasa. Mediante procesos de gasificación o pirólisis de residuos agrícolas y forestales, es posible generar gas de síntesis rico en hidrógeno.

Aunque la ruta electroquímica tiene un nivel de madurez tecnológica (TRL) más alto, la ruta de la biomasa ofrece una oportunidad para la gestión de residuos y la economía circular, presentando una opción viable para regiones con abundantes recursos orgánicos^[8].

El Reto Económico: Intermitencia y Costos

El principal obstáculo para la adopción masiva del amoníaco verde es su costo nivelado, que actualmente es superior al del amoníaco fósil. La naturaleza variable de la energía solar y eólica choca con la necesidad del proceso Haber-Bosch de operar de manera continua.

Investigaciones realizadas en Europa demuestran que maximizar la eficiencia energética no siempre equivale a minimizar costos. De hecho, el sobredimensionamiento de los electrolizadores y el "recorte" (curtailment) estratégico de los picos de energía renovable pueden resultar económicamente óptimos al reducir la necesidad de costosos almacenamientos de hidrógeno intermedio^[6]. Además, en regiones como el sur de España, se ha explorado la hibridación con biogás para garantizar un suministro constante de hidrógeno, lo que podría reducir la necesidad de tanques de almacenamiento presurizados peligrosos y costosos^[1].

A pesar de estos desafíos, las proyecciones indican que, con la caída en los costos de las energías renovables y los electrolizadores (especialmente las tecnologías PEM y alcalinas), el amoníaco verde podría volverse competitivo hacia 2030-2050, especialmente si se implementan impuestos al carbono agresivos^[3].

Impacto Ambiental y Seguridad

La ventaja ambiental del amoníaco verde es indiscutible en términos de huella de carbono. Un análisis de ciclo de vida realizado en Sudáfrica demostró que la intensidad de carbono del amoníaco verde puede ser tan baja como 0.11 kg de CO_2 -eq por kg de amoníaco, muy por debajo de los umbrales internacionales para combustibles bajos en carbono, siempre que se utilicen energías renovables dedicadas^[9].

Sin embargo, "verde" no significa libre de riesgos. El amoníaco es altamente tóxico y corrosivo. Su uso como combustible en el transporte marítimo o terrestre plantea preocupaciones de seguridad significativas en caso de fugas. Además, su combustión puede generar óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxido nítrico (N_2O), un potente gas de efecto invernadero, si no se controla adecuadamente^[5, 7]. Comparado con el metanol verde, el amoníaco tiene la ventaja de no emitir carbono en su uso final, pero requiere protocolos de seguridad más estrictos debido a su toxicidad^[2].

Conclusiones

“El amoníaco verde representa una pieza fundamental en el rompecabezas de la transición energética global. Su capacidad para almacenar y transportar energía renovable a gran escala lo posiciona favorablemente frente a otras alternativas como el hidrógeno líquido o las baterías para aplicaciones de larga distancia y carga pesada.

Para que el amoníaco verde sea una realidad comercial en regiones como Chihuahua, que cuenta con un alto potencial solar, es necesario enfocar los esfuerzos en la reducción de costos de electrólisis, la gestión inteligente de la intermitencia energética y el establecimiento de marcos regulatorios que prioricen la seguridad y la certificación de origen renovable.”





Referencias

[1] Arnaiz del Pozo, C., Cloete, S., Carretero Alonso, L., & Jiménez Álvaro, Á. (2025). Is green ammonia in the south of Spain cost-competitive by 2030? *Chemical Engineering Journal*, 523, 168218.

[2] Cao, C., Wen, B., Fang, Y., Hou, Z., Wang, Q., Zhang, T., Huang, L., Chen, Q., Zhang, L., Zhao, Y., & Lüddecke, C. T. (2025). A comprehensive comparison of green ammonia and green methanol from a full chain: production, transportation, storage and utilization. *Carbon Neutral Systems*, 1(8).

[3] Herdem, M. S., & Adams II, T. A. (2026). Green hydrogen production systems with insights from green Ammonia: A review and Data-Driven Techno-Economic and environmental Meta-Analysis. *Energy Conversion and Management*, 349, 120859.

[4] Liang, X., Tang, Y., Peng, S., Wang, X., Tang, J., Liu, H., Xie, J., Zhang, H., & Ma, X. (2025). Techno-environmental-economic assessment of green ammonia production system integrated with off-grid offshore wind power. *International Journal of Hydrogen Energy*, 184, 151902.

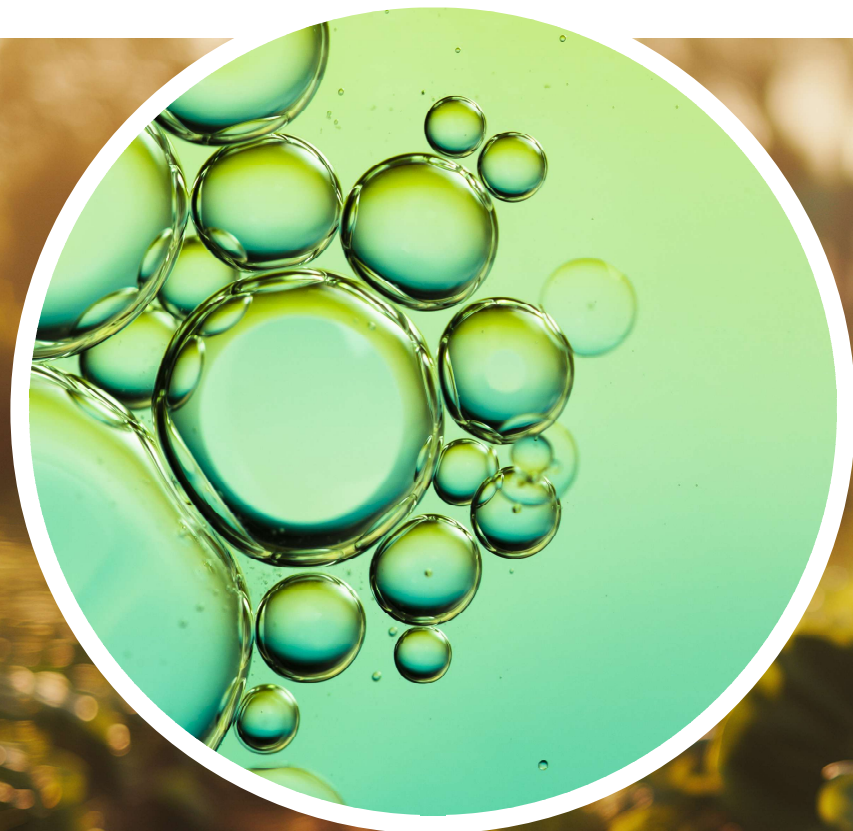
[5] Pukazhselvan, D., Sandhya, K. S., Fagg, D. P., & Blaabjerg, F. (2026). The future of clean transportation: Hydrogen, batteries, ammonia, and green methane in perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116286.

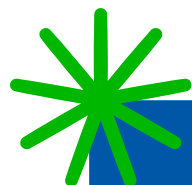
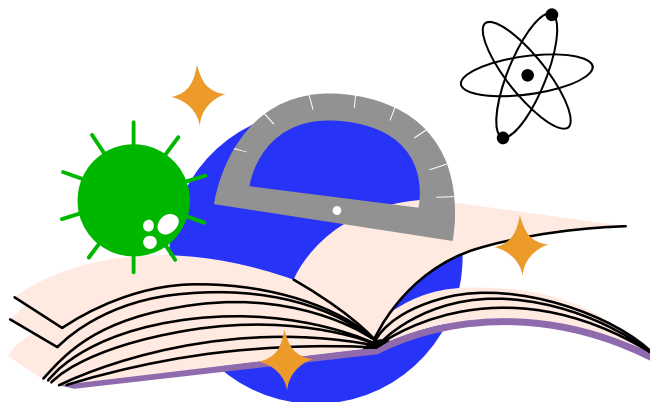
[6] Smith, C., & Torrente-Murciano, L. (2025). Cost efficiency versus energy utilization in green ammonia production from intermittent renewable energy. *Nature Chemical Engineering*, 2, 261–272.

[7] Simha, P., & van der Merwe, G. (2024). Is “green” ammonia a misnomer? Unpacking the green label from a food-water-energy nexus perspective in water-scarce regions. *BMC Environmental Science*, 1(5).

[8] Soni, K., Lanjekar, P. R., & Panwar, N. L. (2025). Biomass-based green ammonia: Pathways, technologies, and sustainability for a carbon-neutral future. *Unconventional Resources*, 8, 100241.

[9] Stafford, W. H. L., Chaba, K. J., Russo, V., Goga, T., Roos, T. H., Sharp, M., & Nahman, A. (2025). Life cycle assessment of green ammonia production at a coastal facility in South Africa. *Frontiers in Energy*.





PARTE II.

Artículos de la comunidad científica de Chihuahua.



MÁS CHIHUAHUA
más de lo bueno
GOBIERNO DEL ESTADO

INSTITUTO DE
INNOVACIÓN Y
COMPETITIVIDAD





Cultivos más fuertes:

Protección de próxima generación para las plantas

Brenda Julian Chávez^[1], Jaqueline Ruiz Madrid^[1], Roberto Nevárez Luna^[1], Stephanie Solano Ornelas^[2], Tania Samanta Siqueiros Cendón^[1], Quintín Rascón Cruz^[1], Luis Ignacio Siañez Estrada^[1], Sughey Ramona Sinawaga García^[3], María Jazmín Abraham Juárez^[4], Edward Alexander Espinoza Sánchez^[1]

[1] Laboratorio de Biotecnología I

[2] Laboratorio de Nanotoxicología y Genómica Funcional

[3] Facultad de Agronomía

[4] Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad



*Autor de correspondencia: eaespinoza@uach.mx



Como sociedad, estamos acostumbrados a adquirir alimentos de origen agrícola; es parte de nuestra vida diaria. Sin embargo, la producción de estos alimentos enfrenta grandes retos debido a las plagas y enfermedades que atacan a las plantas^[1]. Se estima que alrededor del 40% de los productos agrícolas se pierden por ataques de insectos y enfermedades, y otro 20% adicional tras la cosecha, lo que representa una pérdida económica global de aproximadamente 220 mil millones de dólares cada año^[2].

En particular, las enfermedades de las plantas son causadas por una amplia variedad de patógenos, incluyendo hongos, bacterias, virus y nematodos^[3], siendo los hongos responsables del 83% de los casos registrados^[4]. Estos patógenos causan graves daños, como deformación de raíces, disminución del crecimiento, baja asimilación de nutrientes, pérdida de calidad y rendimiento del cultivo, e incluso contaminación del producto final^[5]. Por ejemplo, hongos como *Fusarium* pueden infectar cereales como maíz, trigo, avena, arroz, cebada y centeno, dejando toxinas en la harina que consumen los humanos. Asimismo, *Claviceps*, que causa la enfermedad del cornezuelo, puede envenenar e incluso provocar la muerte de ganado^[4,6].

Frente al problema que representan las enfermedades para la producción agrícola, comúnmente se ha implementado la rotación de cultivos y el control biológico, aunque la estrategia principal ha sido la aplicación de productos químicos^[7,8]. No obstante, su aplicación excesiva ha provocado resistencia en los patógenos, contaminación ambiental y riesgos para la salud humana^[9]. Por esta razón, en años recientes se han buscado alternativas más sostenibles y efectivas.

Una de estas estrategias emergentes es el ARN de interferencia (ácido ribonucleico de interferencia, ARNi), considerada promisorio debido a su alta efectividad y bajo impacto ambiental^[10].

Esta tecnología puede emplearse de dos maneras: silenciando genes específicos y esenciales en los patógenos, lo que provoca su muerte, o bien suprimiendo genes reguladores que inhiben la defensa natural de la planta^[11,12]. Sea cual sea la estrategia, el ARNi se ha visto como una alternativa interesante, ya que, a diferencia de los productos químicos tradicionales, que pueden afectar de forma indiscriminada a diferentes organismos, el ARNi actúa de forma selectiva sobre los patógenos^[5,7,13].

El ARN interferente no es un invento humano; por el contrario, es un mecanismo natural, bien conservado y presente en una gran variedad de organismos, incluidas las plantas. Este se activa en las células cuando se detecta ARN de doble cadena (dsRNA). Al ser identificado, se pone en marcha un proceso en el que participa una enzima llamada Dicer, la cual fragmenta el dsRNA en pequeñas piezas denominadas siRNA (small interfering RNA), usualmente de 21-24 nucleótidos de longitud^[14]. Estos fragmentos pequeños son luego incorporados a un complejo de silenciamiento inducido por ARN presente en todas las células del organismo, que busca todos los ARN mensajeros con secuencias complementarias. Una vez que los encuentra, los degrada, impidiendo que se formen las proteínas esenciales; como resultado, el organismo muere por la falta de esos productos celulares^[15,16].

Gracias a las ventajas técnicas que ofrece el ARNi y a la presencia natural de este mecanismo en las células, se ha buscado aprovecharlo integrando dsRNA específicos de patógenos en el genoma de las plantas. Cuando un patógeno entra en contacto con la planta, este adsorbe el dsRNA producido, lo que desencadena su muerte. Este tipo de estrategias se ha aplicado, por ejemplo, en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), a las cuales se les confirió resistencia al virus del mosaico dorado del frijol (BGMV), transmitido por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Al silenciar el gen viral *AC1* mediante dsRNA, las plantas no desarrollaron síntomas tras la exposición al virus^[17].

De forma similar, plantas de papa de la variedad Spunta que expresaban dsRNA dirigido al virus Y de la papa (PVY), mostraron resistencia a tres cepas del virus, así como al virus X de la papa (PVX)^[18].

Igualmente, se ha utilizado tecnología de ARNi en papaya. Estas son afectadas por el virus de la mancha anular de la papaya (PRSV), transmitido por pulgones; para evitarlo, Jia et al.^[19] desarrollaron papayas modificadas que expresan siRNA contra el PRSV, logrando plantas resistentes. Por otro lado, el ARNi también se ha probado en ciruelos (*Prunus domestica*) para hacerlos resistentes al virus de la viruela del ciruelo (PPV), causante de la enfermedad Sharka, que afecta a frutales como el albaricoque, durazno y la nectarina^[20]; y en tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Money-maker) para hacerlos resistentes al viroide del tubérculo fusiforme de la papa (PSTVd)^[21].

Si bien el desarrollo de cultivos resistentes a través de la incorporación de dsRNA es una estrategia viable desde el punto de vista técnico, las plantas modificadas genéticamente no gozan de una amplia aceptación pública por lo que su cultivo está determinado por las políticas internas de cada país^[22-25].

Como alternativa a los cultivos modificados, se han desarrollado formulaciones que permiten la aplicación del dsRNA en forma de spray directamente sobre los cultivos, un procedimiento llamado silenciamiento genético inducido por pulverización (SIGS, por sus siglas en inglés)^[26]. Aunque este proceso es más aceptado, pues el dsRNA se produce en laboratorios y no directamente en las plantas^[27,28], y por lo tanto no es considerado un organismo genéticamente modificado, también presenta algunos inconvenientes técnicos, pues el dsRNA, una vez que se aplica, tiene una vida útil limitada debido a su degradación por factores ambientales como temperatura o radiación UV^[29].

No obstante, ya se ha observado la efectividad de los sprays con dsRNA contra hongos como *Fusarium graminearum*, cuya capacidad infecciosa se redujo en *Arabidopsis* y cebada (*Hordeum vulgare*) tras el tratamiento, con un efecto comparable al de los fungicidas comerciales^[30]. Igualmente, se ha observado que el dsRNA puede tener un efecto sistémico; por ejemplo, cuando se aplicó en hojas de cebada, el efecto fungicida se distribuyó incluso en las hojas no tratadas^[26].

A pesar de los avances logrados con la tecnología de RNAi y de sus ventajas frente a los métodos de control convencionales, aún persisten desafíos importantes para su implementación a gran escala. Factores como la eficiencia del silenciamiento, métodos de entrega y condiciones ambientales continúan siendo objeto de estudio. Sin embargo, su especificidad, eficacia y bajo impacto ambiental convierten al RNAi en una solución prometedora para el control sostenible de enfermedades. Para aprovechar todo su potencial, es necesario fomentar la colaboración entre investigadores, productores, gobiernos y la sociedad, con el fin de informar, generar confianza y avanzar hacia una agricultura más resiliente y segura.





Referencias

- [1] McLoughlin, A.G., P.L. Walker, N. Wytinck, D.S. Sullivan, S. Whyard, y M.F. Belmonte. 2018. Developing new RNA interference technologies to control fungal pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 40(3): 325-335. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1495268>
- [2] Paoletti, M.G. y D. Pimentel. 2000. Environmental risks of pesticides versus genetic engineering for agricultural pest control. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 12(3): 279-303. <https://doi.org/10.1023/A:1009571131089>
- [3] Kuo, Y.-W. y B.W. Falk. 2020. RNA interference approaches for plant disease control. *BioTechniques*. 69(6): 469-477. <https://doi.org/10.2144/btn-2020-0098>
- [4] Khakimov, A., I. Salakhutdinov, A. Omolikov, y S. Utaganov. 2022. Traditional and current-prospective methods of agricultural plant diseases detection: A review, in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 951 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012002>
- [5] Zotti, M., E.A. Dos Santos, D. Cagliari, O. Christiaens, C.N.T. Taning, y G. Smagghe. 2018. RNA interference technology in crop protection against arthropod pests, pathogens and nematodes. *Pest Management Science*. 74(6): 1239-1250. <https://doi.org/10.1002/ps.4813>
- [6] Majumdar, R., K. Rajasekaran, y J.W. Cary. 2017. RNA interference (RNAi) as a potential tool for control of mycotoxin contamination in crop plants: concepts and considerations. *Frontiers in Plant Science*. 8: 200. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00200>
- [7] Fletcher, S.J., P.T. Reeves, B.T. Hoang, y N. Mitter. 2020. A perspective on RNAi-based biopesticides. *Frontiers in Plant Science*. 11: 51. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00051>
- [8] Shavanov, M., I. Shigapov, y A. Niaz. 2022. Biological methods for pests and diseases control in agricultural plants, in AIP Conference Proceedings. AIP Publishing. 2390 (1): 030081. <https://doi.org/10.1063/5.0070487>
- [9] Mazzi, D. y S. Dorn. 2012. Movement of insect pests in agricultural landscapes. *Annals of Applied Biology*. 160(2): 97-113. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00533.x>
- [10] Qi, H.-Y., D.-D. Zhang, B. Liu, J.-Y. Chen, D. Han, y D. Wang. 2024. Leveraging RNA interference technology for selective and sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*. 15: 1502015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1502015>
- [11] Mehlhorn, S., V.S. Hunnekuhl, S. Geibel, R. Nauen, y G. Bucher. 2021. Establishing RNAi for basic research and pest control and identification of the most efficient target genes for pest control: a brief guide. *Frontiers in Zoology*. 18: 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12983-021-00444-7>
- [12] Wu, M., Q. Zhang, Y. Dong, Z. Wang, W. Zhan, Z. Ke, S. Li, L. He, S. Ruf, y R. Bock. 2023. Transplastomic tomatoes expressing double-stranded RNA against a conserved gene are efficiently protected from multiple spider mites. *New Phytologist*. 237(4): 1363-1373. <https://doi.org/10.1111/nph.18595>
- [13] Gebremichael, D.E., Z.M. Haile, F. Negrini, S. Sabbadini, L. Capriotti, B. Mezzetti, y E. Baraldi. 2021. RNA interference strategies for future management of plant pathogenic fungi: Prospects and challenges. *Plants*. 10(4): 650. <https://doi.org/10.3390/plants10040650>
- [14] Svoboda, P. 2020. Key mechanistic principles and considerations concerning RNA interference. *Frontiers in Plant Science*. 11: 1237. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01237>
- [15] Schmitt-Engel, C., D. Schultheis, J. Schwirz, N. Ströhlein, N. Troelenberg, U. Majumdar, V.A. Dao, D. Grossmann, T. Richter, M. Tech, J. Dönitz, L. Gerischer, M. Theis, I. Schild, J. Trauner, N.D.B. Koniszewski, E. Küster, S. Kittelmann, Y. Hu, S. Lehmann, J. Siemanowski, J. Ulrich, K.A. Panfilio, R. Schröder, B. Morgenstern, M. Stanke, F. Buchholz, M. Fräsch, S. Roth, E.A. Wimmer, M. Schoppmeier, M. Klingler, y G. Bucher. 2015. The iBeetle large-scale RNAi screen reveals gene functions for insect development and physiology. *Nature Communications*. 6(1): 7822. <https://doi.org/10.1038/ncomms8822>
- [16] Gordon, K.H.J. y P.M. Waterhouse. 2007. RNAi for insect-proof plants. *Nature Biotechnology*. 25(11): 1231-1232. <https://doi.org/10.1038/nbt1107-1231>
- [17] Bonfim, K., J.C. Faria, E.O. Nogueira, É.A. Mendes, y F.J. Aragão. 2007. RNAi-mediated resistance to Bean golden mosaic virus in genetically engineered common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 20(6): 717-726. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-6-0717>
- [18] Missiou, A., K. Kalantidis, A. Boutla, S. Tzortzakaki, M. Tabler, y M. Tsagris. 2004. Generation of transgenic potato plants highly resistant to potato virus Y (PVY) through RNA silencing. *Molecular Breeding*. 14: 185-197. <https://doi.org/10.1023/B:MOLB.0000038006.32812.52>

[19] Jia, R., H. Zhao, J. Huang, H. Kong, Y. Zhang, J. Guo, Q. Huang, Y. Guo, Q. Wei, y J. Zuo. 2017. Use of RNAi technology to develop a PRSV-resistant transgenic papaya. *Scientific Reports*. 7(1): 12636. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13049-0>

[20] Dolgov, S., R. Mikhaylov, T. Serova, O. Shulga, y A. Firsov. 2010. Pathogen-derived methods for improving resistance of transgenic plums (*Prunus domestica* L.) for Plum pox virus infection. *Julius-Kühn-Archiv*. 427: 133

[21] Schwind, N., M. Zwiebel, A. Itaya, B. Ding, M.B. WANG, G. Krczal, y M. Wassenegger. 2009. RNAi-mediated resistance to Potato spindle tuber viroid in transgenic tomato expressing a viroid hairpin RNA construct. *Molecular Plant Pathology*. 10(4): 459-469. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00546.x>

[22] CAST. 2024. RNA interference in agriculture: Methods, applications, and governance. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa. 72: 1. <https://doi.org/10.62300/irne9191>

[23] De Schutter, K., C.N.T. Taning, L. Van Daele, E.J.M. Van Damme, P. Dubruel, y G. Smaghe. 2022. RNAi-based biocontrol products: Market status, regulatory aspects, and risk assessment. *Frontiers in Insect Science*. 1: 1-9. <https://doi.org/10.3389/fin-sc.2021.818037>

[24] Dietz-Pfeilstetter, A., M. Mendelsohn, A. Gathmann, y D. Klinkenbuß. 2021. Considerations and regulatory approaches in the USA and in the EU for dsRNA-based externally applied pesticides for plant protection. *Frontiers in Plant Science*. 12: 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.682387>

[25] Leahy, J., M. Mendelsohn, J. Kough, R. Jones, y N. Berckes. Biopesticide oversight and registration at the U.S. 2014. Environmental Protection Agency, in *Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities*, A.D. Gros, J.R. Coats, S.O. Duke, J.N. Seiber Editors. American Chemical Society. 3-18. <https://doi.org/10.1021/bk-2014-1172.ch001>

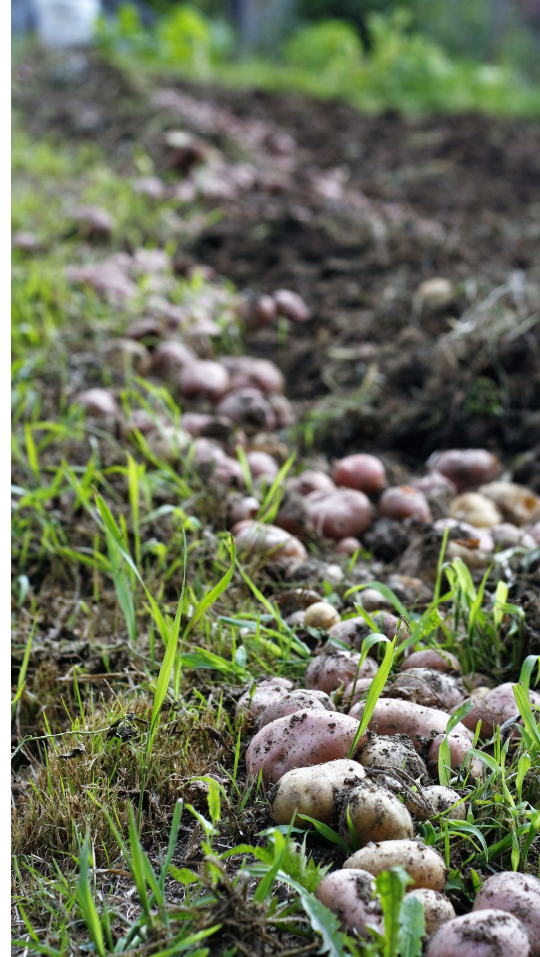
[26] Koch, A., D. Biedenkopf, A. Furch, L. Weber, O. Rossbach, E. Abdellatef, L. Linicus, J. Johansmeier, L. Jelonek, y A. Goesmann. 2016. An RNAi-based control of *Fusarium graminearum* infections through spraying of long dsRNAs involves a plant passage and is controlled by the fungal silencing machinery. *PLoS Pathogens*. 12(10): e1005901. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005901>

[27] Murphy, K.A., C.A. Tabuloc, K.R. Cervantes, y J.C. Chiu. 2016. Ingestion of genetically modified yeast symbiont reduces fitness of an insect pest via RNA interference. *Scientific Reports*. 6(1): 22587. <https://doi.org/10.1038/s-rep22587>

[28] Shen, C.-H., L. Jin, K.-Y. Fu, W.-C. Guo, y G.-Q. Li. 2022. RNA interference targeting Ras GTPase gene *Ran* causes larval and adult lethality in *Leptinotarsa decemlineata*. *Pest Management Science*. 78(9): 3849-3858. <https://doi.org/10.1002/ps.6822>

[29] Niño-Sánchez, J., P.T. Sambasivam, A. Sawyer, R. Hamby, A. Chen, E. Czulowski, P. Li, N. Manzie, D.M. Gardiner, R. Ford, Z.P. Xu, N. Mitter, y H. Jin. 2022. BioClay™ prolongs RNA interference-mediated crop protection against *Botrytis cinerea*. *Journal of Integrative Plant Biology*. 64(11): 2187-2198. <https://doi.org/10.1111/jipb.13353>

[30] Koch, A., N. Kumar, L. Weber, H. Keller, J. Imani, y K.-H. Kogel. 2013. Host-induced gene silencing of cytochrome P450 lanosterol C14 α -demethylase-encoding genes confers strong resistance to *Fusarium* species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 110(48): 19324-19329. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306373110>





Entre la esperanza y la complejidad: El reto de los biocombustibles hacia una producción sostenible

Roberto Nevárez Luna^[1], Maribel Mendoza Alatorre^[1], Stephanie Solano Ornelas^[2], Tania Samanta Siqueiros Cendón^[1], Quintín Rascón Cruz^[1], Carmen Daniela González Barriga^[3], Sughey Ramona Sinawaga García^[4], María Jazmín Abraham Juárez^[5], Jorge Ariel Torres Castillo^[6], Edward Alexander Espinoza Sánchez^[1]

[1] Laboratorio de Biotecnología I

[2] Laboratorio de Nanotoxicología y Genómica Funcional

[3] Laboratorio de Cultivo de Tejidos

[5] Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad

[6] Universidad Autónoma de Tamaulipas



*Autor de correspondencia: eaespinoza@uach.mx



La contaminación ambiental es una de las principales amenazas para la salud humana y el equilibrio ecológico.

Aunque diversas actividades humanas contribuyen a esta problemática, la quema de combustibles fósiles es de las principales causas de la emisión de dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero de gran importancia^[1]. En México, las emisiones de CO₂ han mostrado una tendencia creciente. Solamente en 2023 se liberaron 487 094 megatoneladas, representando un incremento del 7.5% con respecto al 2021^[2]. Esta cifra es alarmante si se considera que aproximadamente 17 000 muertes en el país fueron atribuidas a la contaminación del aire^[3].

Ante este panorama, se han propuesto estrategias para disminuir la dependencia de combustibles fósiles y reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Una alternativa prometedora es el desarrollo y uso de biocombustibles^[4], una fuente de energía renovable con menor impacto ambiental. Sin embargo, su adopción aún enfrenta desafíos tanto técnicos como económicos y sociales.

Cuando hablamos de biocombustibles, nos referimos de forma general a aquellos combustibles que se obtienen a partir de materia orgánica. Como estos materiales son diversos, los biocombustibles se clasifican según el tipo de insumo utilizado. Si se obtienen de cultivos como maíz, caña de azúcar o girasol, se les llama biocombustibles de primera generación. Por otro lado, si provienen de residuos agroforestales, son de segunda generación. Cuando se utilizan algas o bacterias fotosintéticas, se consideran de tercera generación. Y si se emplean cultivos genéticamente modificados (OGM), se les denomina de cuarta generación^[5-8].

Todos los biocombustibles, sin importar su generación, representan una alternativa viable a los combustibles fósiles; sin embargo, no todos son igual de viables. Por ejemplo, los biocombustibles de primera y segunda generación que se obtienen a partir de cultivos que también se destinan a la alimentación humana y animal, generan serias preocupaciones éticas. En un mundo donde se estima que la población mundial alcanzará los 9.7 mil millones de personas en los próximos 25 años^[9], surge el dilema de priorizar el uso de tierras para la producción de alimentos por encima de la generación de energía^[10]. Por lo tanto, estas generaciones podrían no ser las más convenientes.

Por su parte, los biocombustibles de tercera generación, aunque no compiten directamente con la alimentación humana, también presentan limitaciones importantes^[11].

Por ejemplo, requieren un procesamiento más complejo, y a menudo presentan un menor rendimiento energético. Además, retirar estos residuos podría causar un impacto negativo en el suelo y su recolección para la producción de biocombustible a gran escala podría ser todo un desafío logístico.

Las problemáticas asociadas a los biocombustibles de primera, segunda y tercera generación, nos llevan a considerar a los biocombustibles de cuarta generación. Estos biocombustibles utilizan cultivos diseñados con el objetivo de generar mayor cantidad de biomasa en un espacio reducido, con el fin de evitar la competencia de tierras y cultivos destinados a la alimentación. Si bien, estos cultivos son técnicamente viables, es prudente reconocer que su desarrollo no es tarea sencilla.

Un enfoque común para el desarrollo de estos cultivos es modificarlos para que las plantas produzcan enzimas capaces de degradar los componentes de sus paredes celulares^[12], facilitando así la obtención de azúcares fermentables. Aunque la tecnología para hacerlo existe, muchas de estas enzimas a menudo no son eficientes en condiciones reales de cultivo.

Uno de los principales obstáculos es la elevada cantidad de lignina presente en las plantas^[11,13-15], un polímero que dificulta la obtención de azúcares aprovechables. La eliminación de la lignina es un paso importante en la producción de cualquier biocombustible, pero, debido a su alta resistencia a la degradación, representa un reto considerable. Por esta razón, a menudo se requieren tratamientos complejos y costosos^[16-18], lo que convierte a la lignina en uno de los principales factores que elevan los costos de producción de los biocombustibles.

Para disminuir el contenido de lignina en las plantas, la biotecnología ha permitido explorar la regulación de genes implicados en su producción, como el gen *COMT* (ácido cafeico O-metiltransferasa). La regulación de este gen, ya sea por mutaciones o mediante ARN interferente, ha permitido mejorar el rendimiento en la producción de etanol a partir de cultivos como colza y diversos tipos de pasto^[19-24].

Además del gen *COMT*, se han identificado otros genes que, al ser regulados, también permiten disminuir la lignina. Genes como *BoC4H*, *bi-OMT*, *C3H/HCT*, *CCoAOMT*, *F5H*, *CAD*, *C4H*, *4CL1*, *4CL2* y *C3H* se han estudiado en alfalfa, álamo, col y tabaco con resultados prometedores^[25-29].

Aunque la ingeniería genética tiene la posibilidad de desarrollar plantas con mejores características para producir biocombustibles a menor costo, el uso de cultivos modificados no es ampliamente aceptado. Actualmente, solo cerca de 70 países han permitido su uso y comercialización^[30]. A pesar de que ya se han aprobado 32 cultivos distintos^[31], y algunos están siendo aprobados gradualmente —como el caso de Brasil, que en el 2023 aprobó el trigo-HB4 (evento: IND-00412-7) que confiere resistencia a sequía, y Filipinas, que aprobó una canola y algodón modificados (eventos BPS-BFLFK-2 y GTL-GFM311-7, respectivamente)^[31]—, de forma general, estos cultivos están fuertemente regulados en varias partes del mundo, incluyendo México.

Por esto, resulta interesante que algunas mutaciones naturales podrían ofrecer resultados similares a los cultivos modificados. Un ejemplo importante es la mutación que da origen a plantas con nervadura central marrón (brown midrib o mutación en el gen *bmr*), la cual reduce considerablemente el contenido de lignina^[32-35], a veces hasta en un 70%. Estas plantas, al desarrollar dichas características de forma natural, representan una alternativa viable para la producción de biocombustibles sin los obstáculos éticos y legales asociados a cultivos genéticamente modificados.

Los biocombustibles son una estrategia novedosa y viable para hacer frente a las necesidades energéticas actuales. No obstante, su implementación a gran escala aún representa un desafío; por lo que la incorporación de nuevas tecnologías en conjunto con políticas públicas adecuadas, son necesarias para garantizar una transición energética responsable y sostenible. 

- [1] Gómez, A.P., D. Bonilla, y D. Banister. 2024. Decoupling transport CO2 emissions: Mexico, Spain and The USA: A trend analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 137: 104510. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104510>
- [2] Expansion. 2023. México - Emisiones de CO2. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2>. Consulta: 30/04/2025
- [3] IHME. 2024. Global burden of disease. Disponible en: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/>. Consulta: 12/04/2025
- [4] Gorozabel, B.P.L., E.R. Reyes, y J.C.P. Parra. 2022. Transformación de biomasa lignocelulósica en biocombustible de segunda generación: estado del arte del pretratamiento. *Revista Bases de la Ciencia*. 7. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4243>
- [5] Zayed, H.M., S. Akter, J. Yun, G. Zhang, F.N. Awad, X. Qi, y J.N. Sahu. 2019. Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 105: 105-128. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.048>
- [6] Dutta, K., A. Daverey, y L. Jih-Gaw. 2014. Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation. *Renewable Energy*. 69: 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.044>
- [7] Borowitzka, M.A. y N.R. Moheimani. 2013. Sustainable biofuels from algae. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 18(1): 13-25. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9271-9>
- [8] Aron, N.S., K.S. Khoo, K.W. Chew, P.L. Show, W.H. Chen, y T.H.P. Nguyen. 2020. Sustainability of the four generations of biofuels: a review. *International Journal of Energy Research*. 44(12): 9266-9282. <https://doi.org/10.1002/er.5557>
- [9] UN. 2022. Department of economic and social affairs, population division, world population prospects 2022. Disponible en: <https://population.un.org/wpp/>. Consulta: 02/04/2025
- [10] OECD-FAO. 2023. Perspectivas agrícolas OCDE-FAO 2023-2032. Disponible en: <https://www.oecd.org/agriculture/oecd-fao-agricultural-outlook/>. Consulta: 06/04/2025
- [11] Himmel, M.E. y E.A. Bayer. 2009. Lignocellulose conversion to biofuels: current challenges, global perspectives. *Current Opinion In Biotechnology*. 20(3): 316-317. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.05.005>
- [12] Espinoza-Sánchez, E.A., J.A. Torres-Castillo, Q. Rascón-Cruz, F. Zavala-García, y S.R. Sinagawa-García. 2016. Producción y caracterización de β -glucosidasas fúngicas y celulasas bacterianas mediante la transformación de cloroplastos de tabaco. *Plant Biotechnology Reports*. 10: 61-73. <https://doi.org/10.1007/s11816-016-0386-7>
- [13] Kumar, R., S. Singh, y O.V. Singh. 2008. Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 35(5): 377-391. <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0327-8>
- [14] Giacomelli, J.I., J.V. Cabello, A.L. Arce, C.A. Dezar, F.D. Ariel, y R.L. Chan. 2008. Mecanismos moleculares de respuesta a distintos tipos de estrés abiótico en las plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 10(56): 339-350. <https://doi.org/10.29298/rmcfv10i56.567>
- [15] Srivastava, N., M. Srivastava, P.K. Mishra, V.K. Gupta, G. Molina, S. Rodriguez-Couto, A. Manikanta, y P.W. Ramteke. 2018. Applications of fungal cellulases in biofuel production: advances and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82: 2379-2386. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.074>
- [16] Bonawitz, N.D. y C. Chapple. 2013. Can genetic engineering of lignin deposition be accomplished without an unacceptable yield penalty? *Current Opinion in Biotechnology*. 24(2): 336-343. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.11.004>



- [17] Kumari, D. y R. Singh. 2018. Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 90: 877-891. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.111>
- [18] Zhang, S., Z. Dong, J. Shi, C. Yang, Y. Fang, G. Chen, H. Chen, y C. Tian. 2022. Enzymatic hydrolysis of corn stover lignin by laccase, lignin peroxidase, and manganese peroxidase. *Bioresource Technology*. 361: 127699. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127699>
- [19] Fu, C., J.R. Mielenz, X. Xiao, Y. Ge, C.Y. Hamilton, M. Rodriguez, C. Jr, F., M. Foston, A. Ragauskas, J. Bouton, R.A. Dixon, y Z.Y. Wang. 2011. Genetic manipulation of lignin reduces recalcitrance and improves ethanol production from switchgrass. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108(9): 3803-3808. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100310108>
- [20] Lynd, L.R. 1996 Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. *Annual Review of Energy and the Environment*. 21(1): 403-465. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.21.1.403>
- [21] Oraby, H.F. y M.F. Ramadan. 2015. Impact of suppressing the caffeic acid O-methyltransferase (COMT) gene on lignin, fiber, and seed oil composition in *Brassica napus* transgenic plants. *European Food Research and Technology*. 240: 931-938. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2397-3>
- [22] Vermerris, W., A. Saballos, G. Ejeta, N.S. Mosier, M.R. Ladisch, y N.C. Carpita. 2007. Molecular breeding to enhance ethanol production from corn and sorghum stover. *Crop Science*. 47: 142-153. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0013IPBS>
- [23] Dien, B.S., G. Sarath, J.F. Pedersen, S.E. Sattler, H. Chen, D.L. Funnell-Harris, y M.A. Cotta. 2009. Improved sugar conversion and ethanol yield for forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) lines with reduced lignin contents. *BioEnergy Research*. 2: 153-164. <https://doi.org/10.1007/s12155-009-9041-2>
- [24] Saballos, A., W. Vermerris, L. Rivera, y G. Ejeta. 2008. Allelic association, chemical characterization and saccharification properties of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *BioEnergy Research*. 1: 193-204. <https://doi.org/10.1007/s12155-008-9025-7>
- [25] Andersen, J.R., I. Zein, W. G., B. Darnhofer, J. Eder, M.Y. Ouzunova, y T. Lübberstedt. 2008. Characterization of phenylpropanoid pathway genes within European maize (*Zea mays* L.) inbreds. *BMC Plant Biology*. 8(1): 2. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-8-2>
- [26] Chen, L., C.K. Auh, P. Dowling, J. Bell, D. Lehmann, y Z.Y. Wang. 2004. Transgenic down regulation of caffeic acid O-methyltransferase (COMT) led to improved digestibility in tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Functional Plant Biology : FPB*. 31(3): 235-245. <https://doi.org/10.1071/FP03254>
- [27] Ye, Z.H. y J.E. Varner. 1995. Differential expression of two O-methyltransferases in lignin biosynthesis in *Zinnia elegans*. *Plant Physiology*. 108(2): 459-467. <https://doi.org/10.1104/pp.108.2.459>
- [28] Pu, Y., F. Chen, A. Ziebell, B.H. Davison, y A.J. Ragauskas. 2009. NMR characterization of C3H and HCT down-regulated alfalfa lignin. *BioEnergy Research*. 2: 198-208. <https://doi.org/10.1007/s12155-009-9056-8>
- [29] Dwivedi, U.N., W.H. Campbell, J. Yu, R.S. Datla, R.C. Bugos, V.L. Chiang, y G.K. Podila. 1994. Modification of lignin biosynthesis in transgenic *Nicotiana tabacum* through expression of an antisense O-methyltransferase gene from *Populus*. *Plant Molecular Biology*. 26(1): 61-71. <https://doi.org/10.1007/BF00039520>
- [30] ISAAA. 2018. Global status of commercialized biotech / GM crops in 2018. Disponible en: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/>. Consulta: 04/05/2025
- [31] ISAAA. 2023. GM Approval Database. Disponible en: <https://www.isaaa.org/gmap-provaldatabase/>. Consulta: 20/05/2024
- [32] Bout, S. y W. Vermerris. 2003. A candidate gene approach to clone the sorghum Brown midrib gene encoding caffeic acid O-methyltransferase. *Molecular Genetics and Genomics: MGG*. 269(2): 205-214. <https://doi.org/10.1007/s00438-003-0824-4>
- [33] Pincon, G., M. Chabannes, C. Lapierre, B. Pollet, K. Ruel, J.P. Joseleau, A.M. Boudet, y M. Legrand. 2001. Simultaneous down regulation of caffeic/5-hydroxy ferulic acid-O-methyltransferase I and cinnamoyl-coenzyme A reductase in the progeny from a cross between tobacco lines homozygous for each transgene. Consequences for plant development and lignin synthesis. *Plant Physiology*. 126(1): 145-155. <https://doi.org/10.1104/pp.126.1.145>
- [34] Sattler, S.E., A.J. Saathoff, E.J. Haas, N.A. Palmer, D.L. Funnell-Harris, G. Sarath, y J.F. Pedersen. 2009. A nonsense mutation in a cinnamyl alcohol dehydrogenase gene is responsible for the Sorghum brown midrib6 phenotype. *Plant Physiology*. 150(2): 584-595. <https://doi.org/10.1104/pp.109.136408>
- [35] Vermerris, W., K.J. Thompson, L.M. McIntyre, y J.D. Axtell. 2002. Evidence for an evolutionarily conserved interaction between cell wall biosynthesis and flowering in maize and sorghum. *BMC Evolutionary Biology*. 2: 2. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-2-2>





Flora de importancia apícola en el desierto chihuahuense

Raymundo René Rivas Cáceres^[3], Luis Quihui Cota^[1], María Elena González Ruelas^[2], Nelly Hostein^[2], Ildefonso Guerrero Encinas^[1], Gloria Guadalupe Morales Figueroa^[1], Carmen Alejandra Méndez Hurtado^[3], Guillermo Alberto Barraza Garza^[3], José de Jesús Castellón Olivares^[4]

[1] Coordinación de Nutrición. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.

[2] Centro Universitario de la Costa, Campus Vallarta, Universidad de Guadalajara

[3] Departamento de Ciencias Químico Biológicas

[4] Universidad Autónoma de Baja California



*Autor de correspondencia: rrivas@uacj.com



Palabras clave: Apícola; polinífera; acetólisis.

RESUMEN

El potencial de la flora nectario polinífera puede contribuir al desarrollo de la apicultura en el estado grande de Chihuahua.

En el presente estudio se tomaron en cuenta 202 especies vegetales, las cuales son identificadas como importantes fuentes de recurso para las abejas, especies las cuales se encuentran en manera silvestre y de cultivo en el desierto Chihuahuense.

La realización de la colecta de plantas, fue llevada a cabo durante su etapa de floración; realizándoles la identificación taxonómica, de igual forma se les realizó la extracción del polen, ya en el laboratorio se les realizó el proceso de acetólisis para montar, observar y describir los granos de polen, se colectó miel de la cosechada por los apicultores de la región, a la que también les extrajo el polen, ya una vez acetolizado y montado, lo cual permitió realizar una comparación con la colección palinológica de referencia, buscando determinar la importancia relativa de esta especie productoras de miel.

Estas actividades unidas a las observaciones de campo, información obtenida de herbarios, así como la distribución de la vegetación, permitió determinar las especies vegetales, sus épocas de floración y las regiones más aptas para la producción de miel en la zona norte de México, así como recomendar las especies vegetales más aptas para la reforestación desde el punto de vista de su potencial melífero.

Introducción

Los largos periodos de sequía y los efectos causados por los mismos como el agotamiento de los mantos friáticos, la disminución de la producción agrícola de riego, la extinción temporal de la agricultura, el aumento de la mortandad en la ganadería por la falta de pastos y altos costos de la alimentación suplementaria, el deterioro ecológico como la deforestación y como consecuencia la erosión de las tierras productivas entre otros factores, son un potencial detonante del deterioro de la economía nacional y la considerable disminución de la población rural por la emigración a centros urbanos.

Las situaciones antes citadas nos obliga a establecer alternativas para dar uso racional productivo, con beneficios ecológicos a regiones de escasa precipitación pluvial como en zonas semiáridas y ecosistemas desérticos, por lo que la apicultura es una importante actividad productiva en distintas regiones de México y el mundo, pero en el norte de México aparentemente luce limitada a unos pocos apicultores, que en algunas ocasiones no utilizan las técnicas de producción más eficientes, ni aprovechan todo el potencial natural que ofrece la diversidad de climas y vegetación de la región (Alaniz, 2002).

La SAGARPA en el 2003 comenta que los estados norteros contribuyen apenas con el 0.48% de la producción nacional de miel. En el norte de México la información en cuanto a la importancia de la flora apícola de la región es escasa. Por otra parte el gran desarrollo de la apicultura en la zona sur de los Estados Unidos Americanos, los cuales son los mayores productores de miel en el mundo con el cual colinda la con la porción norte de México y que tiene semejanzas climáticas y florísticas, permitiría esperar que México tuviese una industria apícola más sólida. confianza y avanzar hacia una agricultura más resiliente y segura.

Siempre existen importantes fuentes de néctar que son desconocidas por el apicultor, por lo tanto solo el análisis del producto final de la colmena puede revelar la verdadera naturaleza de las fuentes de néctar en el área y su contribución a la miel. (Sawyer, 1998). Este análisis establece un espectro único de pólenes para cada miel, con lo que las muestras similares pueden ser identificadas y correlacionadas. Dicho trabajo ha sido de gran importancia en la planeación de las áreas apícolas sin exploración previa, ya que con esto es posible estimar el potencial de producción de miel, así planear el sistema de manejo de colmenas para maximizar la producción apícola.

El conocer el contenido de polen en la miel (melisopalinología) permite determinar el origen geográfico y los elementos botánicos que le brindan características a cada tipo de miel (Molan, 1998). Los estudios melisopalinológicos brindan valiosa información del origen botánico y geográfico de los distintos tipos de miel (Ramalho, 1991).

unque los estudios melisopalinológicos cuentan con carencias, no existen métodos alternativos confiables (Mola, 1998).

La materia prima florística no tiene que ser exuberante para que la práctica de la apicultura sea posible; la apicultura se practica en todo tipo de zona incluyendo algunas zonas áridas de naciones con Kenia (Hussein, 2001) y Tanzania, donde la industria apícola desempeña un importante papel en la economía del lugar (Hussein, 2001). Esto es posible, ya que las abejas forrajea a solo algunos metros de sus colonias cuando los recursos llegan a ser abundantes, pero cuando llegan a ser escasos, llegan a volar en su búsqueda hasta 14 kilómetros (Ichikawa, 2000), o cubrir un área que puede llegar a superar las 5 000 hectáreas (Sawyer, 1998).

Materiales y métodos

Para la obtención de los tipos de vegetación representativa se diseñó un mapa con los sitios para muestrear, instalando al menos cinco sitios en cada uno de los grandes grupos de vegetación y los distintos tipos de uso de suelo (matorral, mezquital, bosque, desierto central, desierto Chihuahuense, agricultura de riego y agricultura de temporal). De cada sitio de muestreo se tomaron las coordenadas geográficas con GPS, realizando cuatro visitas a los mismos sitios de muestreo durante el año, registrando la presencia o ausencia de especies en floración, y en caso de encontrarse, se realizó la colecta de la especie. Dicha colecta vegetal incluyó todas las especies de interés aquellas que estuvieron en floración al momento de la visita. En el área de campo se realizaron las observaciones, registrando la presencia o ausencia de abejas, así como también se realizó la colecta de flores de otras plantas que se observaron con mayor frecuencia visitadas por las abejas.

Las plantas que fueron colectadas, se colocaron en prensas, para ser trasladadas al herbario, al igual que secadas y montadas para su posterior identificación taxonómica. Luego de la extracción del polen, se depositaron al menos un par de ejemplares de la especie en el herbario BC-MEX.

El polen extraído del área de las anteras, una vez debidamente identificado, fue acetolizado y montado en preparaciones fijas, las cuales fueron utilizadas para su posterior comparación con la colección de referencia.

Resultados y discusión

Se identificaron dentro de la región de estudio a 143 especies de plantas de importancia apícola, las cuales pertenecen a 41 familias botánicas y son en su mayoría especies nativas, que crecen en forma silvestre en los ecosistemas del norte de México; estas plantas presentan épocas de floración distintas en las diferentes regiones ecológicas de la entidad, por lo que a continuación se hace una descripción de las especies nativas más representativas de esta zona:

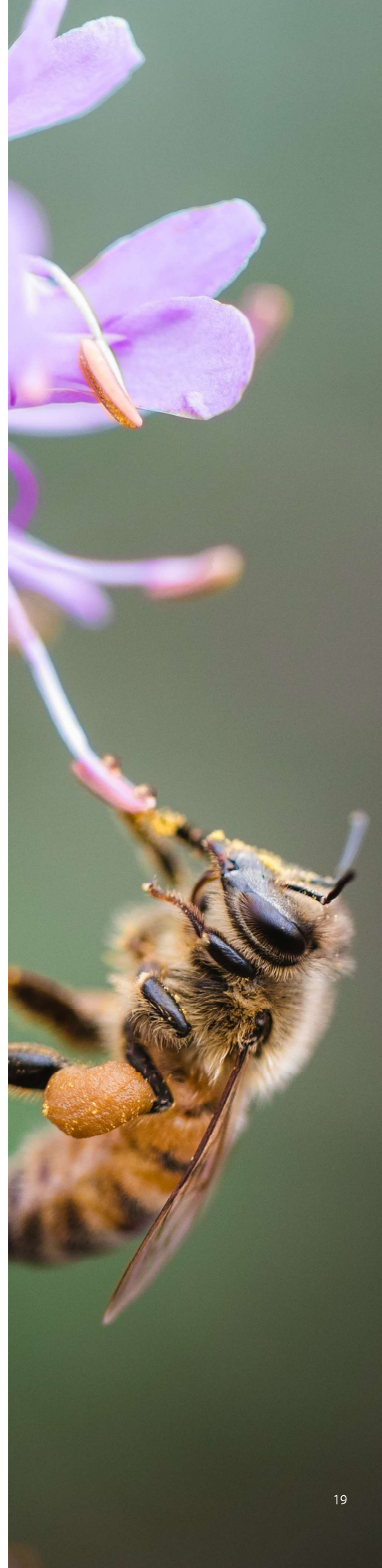
Prosopis pubescens (Benth, 1846), nombre común *tornillo* o *mezquite dulce*, sección *Strombocarpa*.

Se trata de un arbusto muy ramificado que llega a medir de 2 a 10 m. de altura, con un tronco de 10-40 cm. de diámetro, presenta de 5-9 pares de pinnas pubescentes de 4-12 mm. de largo, espinas dorsales estipulares de 0.2-2.0 cm. Las flores son de color crema o amarillentas en densos racimos en forma de espigas, son axilares de 2-5 cm. de largo. Las vainas maduras se enrollan firmemente en espirales de 5-7 mm. de ancho y 3-6 cm. de largo. Las hojas caen en invierno y las nuevas hojas aparecen en forma de resorte antes de las flores. El inicio de la inflorescencia se presenta en verano culminando a través de la misma estación, la producción de la fruta. El típico *Prosopis pubescens* crece en hábitats con humedad a lo largo de arroyos y de las charcas cercanas que se filtran de los mismos. Se encuentra en márgenes de los arroyos y drenes en el valle de Mexicali y valle de Las Palmas en Baja California.

Material examinado: Muestreos de campo y análisis de las colectas de los herbarios BC-MEX y el del museo de Historia Natural de San Diego.

Prosopis glandulosa Torr. var. *torreyana* (L. Benson, 1827), nombre común *Mezquite dulce*.

Su mayor distribución se encuentra en el centro y suroeste de Estados Unidos Americanos, Baja California, Nuevo México y Chihuahua, extendiéndose hasta nevada, Utah, Sinaloa, San Luis Potosí y Texas. Los individuos adultos crecen en ecosistemas riparios o bien, formando rodales abiertos, alcanzando alturas de 7 a 13 m. existe también un tipo arbustivo que comúnmente invade las tierras de pastoreo.



En rodales densos y sobre sitios arenosos toma la forma de arbusto con varios tallos. Las espinas son axilares de 1 a 4.5 cm. de largo, aunque algunas individuos cuentan con pocas espinas.

Algunas veces se encuentran distribuidos en pares, pero por lo general son solitarios. Cuenta con hojas con forma glabra, presenta uno o dos pares de pinnas de 6 a 17 cm. de largo, con un mismo número de pares de foliolos cada una, cada foliolo va de 1 a 4 cm de largo, separado a lo largo del caquis a distancias iguales o mayores de su ancho, presentando una forma linear u oblonga con una notable nervadura.

Cuentan con inflorescencia en forma de racimo espigado de 5 a 14 cm. de largo. Las vainas de forma comprimida 1-2.5 cm. de diámetro y de 1-1.5 cm. de ancho, estas contienen de 5 a 18 semillas ovaladas. *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* es una especie común en suelos arenosos de arroyos, su crecimiento es rápido y las raíces adventicias le permiten colonizarse activamente.

Material examinado: Colectas en poblaciones silvestres de Baja California y consulta a los herbarios BC-MEX, así como en el museo de Historia Natural de San Diego.

Prosopis articulata (S. Watson), nombre común Mesquite amargo.

Especie de distribución restringida en Baja California, sus principales poblaciones se ubican en Sonora y Baja California Sur, sobre mesas rocallosas o llanuras, así como a lo largo de la costa del Golfo de la Península. Esta especie presenta plantas erguidas de 2 a 5 m. de altura, con múltiples ramificaciones, su tronco es corto, con corteza lisa y parda, las ramas cuentan con un color verdoso.

Las espinas son axilares, dispuestas en pares de 0.3 a 3 cm. de largo. Las hojas presentan un solo par de pinnas, algunas veces dos pares. Los peciolos son de 0.2 a 2.5 cm de largo y las pinnas de 0.4 a 6.5 cm. de largo. Los foliolos son de 2.5 a 12 cm. de largo, con 1.2 a 3.5 mm. de ancho, de forma lineal elíptica y muy levemente lanosos o glabros. Presentan su inflorescencia en forma de racimo de 4 a 9 cm. de largo, tan o más largos que las hojas.



Las flores son pequeñas, numerosas y de color amarillo, los pétalos son libres de 3.5 a 4 mm. de largo y con un ápice peloso. El ovario es pubescente. La vaina es seca, linear, pero muy aplanada, amarilla o con tinte violeta, con 10 a 24 mm. de largo y de 5 a 8 mm. de ancho. Los segmentos son elípticos, fusiformes, de 1 a 1.8 cm. de largo con constricciones de 1 a 5 mm. de ancho. El exocarpo es lanoso o glabro.

El mesocarpio es longitudinalmente fibroso y el endocarpio es delgado, flexible, liso y de color blanquecino. Las semillas son longitudinalmente elípticas, de 7 a 8 mm. de largo y pardas. El fruto es de sabor amargo, de donde deriva su nombre común.

Prosopis globosa var. *mexicana*. *Prosopidastrium mexicanum* (Dressler, 1954 y Barkart, 1964).

Esta planta fue primero tratada como mezquite por Dressler en 1954 y posteriormente como un género nuevo por Burkart en 1964. Este arbusto representa al único género endémico de Baja California, México, alcanza una altura de 1 a 3 m., presenta tallos prominentes acanalados con un color verde amarillento, en su parte terminal presenta una espina estipular recurvada.

Las hojas pinnadas se presentan en forma opuesta por pares con una longitud aproximada de 5 mm. los frutos son una vaina dehisciente que presenta una fibra en su margen de color café claro y en su interior presenta semillas de consistencia dura, de color café claro, con un pico en su parte superior y una pequeña constricción en su parte basal central.

Las mayores densidades de población se encuentran distribuidas en arroyos con cierta salinidad desde el puerto de San Carlos en la parte norte, bordeando la costa, hasta las cercanías de Santa Rosalía, en Sonora. En estos sitios el impacto constante de los cientos marinos, deshidrata los puntos de crecimiento por lo que la planta ha desarrollado una forma biológica de arbusto rastrero con cierta compactación.

La vegetación asociada a las poblaciones de *Prosopidastrium*, está compuesta por *Ambrosia chenopodiifolia*, *Atriplex* sp., *Lysium andersonii*, *Euphorbia misera*, *franquenian* spp., *Marah* sp., *Yucca valida*, *Stenocereus gommosus*, *Opuntia choya*, *Ferocactus gracilis*, *Eriogonum fasciculatum*, *Pachycormus discolor*, *Salicornia bigelovii*, *Marrubium vulgare*, *Lophocereus schottii*.

Listado de flora de importancia melífera de la zona norte de México:



Por lo que la oferta de recursos nectario-poliníferos podría ser aprovechada en mayor grado si se diseñan programas de movilización de colmenas. Para programar estas movilizaciones de colmenas y promover el establecimiento de colmenas en sitios donde actualmente no se desarrolla la actividad, es necesario identificar con mayor precisión las fuentes de néctar que las abejas utilizan para la producción de miel (Alaniz, 2002).

La apicultura es una de las actividades rurales más redituables, con un mínimo de consumo de agua y una inversión relativamente pequeña. Se aprovecha la floración de especies vegetales silvestres y de cultivos comerciales aledaños, ya que el radio de acción de las abejas es de aproximadamente tres kilómetros. Los mezquites de estas zonas semiáridas producen vainas que se pueden procesar para obtener jarabe o almíbar de fructosa, para alimentar a las abejas en épocas de invierno.

Con fines técnicos y prácticos y por supuesto de ingresos extras, esta zona es la mejor opción para desarrollar apiarios cerca o en la periferia del huerto agroforestal a establecer, con el fin de aprovechar la polinización realizada por las ovejas para aumentar la producción de hortalizas de la región y vainas del mezquite de esta zona semidesértica. Por lo tanto esta zona está catalogadas como altas productoras de miel, con 80-100% kg. En diez cosechas por colmena por temporada (Anual).

Un apiario de cien colmenas, que te produzcan 1000 kg. Por año a \$150 pesos kilo (precio actual), nos da una ganancia bruta de \$1, 500,000 pesos. Además de producir otros productos comerciables de un apiario son la jalea real, polen, propolen y ceras. Aunque la apicultura rara vez puede convertirse en la única fuente de ingresos, puede tener un papel clave como una actividad secundaria que genera recursos alimenticios, empleo e ingresos (Illgner, et. al., 1998; Nel, et. al., 2000).

El desarrollo de actividades alternativas a la producción de miel, tales como la polinización de cultivos puede contribuir al incremento del nivel de vida de la población rural (Ezcharreta, et al., 1997).



Listado de flora de importancia melífera de la zona norte de México:

	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
1	Cucurbitaceae	Cucurbita palmata	Calabaza de coyote
2	Solanaceae	Datura stramonium	Toloache
3	-	Datura wrightii	Toloache (belladona)
4	Caprifoliaceae	Sambucus mexicana	Sauco
5	Ericaceae	Arctostaphylos peninsularis	Manzanita
6	-	Arctostaphylos glauca	Manzanita
7	-	Arctostaphylos patula	Manzanita
8	-	Ornithostaphylos oppositifolia	Palo blanco
9	-	Arctostaphylos pungens	Manzanita
10	Caesalpinioideae	Cassia armata	Casia del desierto
11	-	Cassia covesii	Ojasen
12	-	Cercidium microphyllum	Palo verde, Dipuga
13	-	Cercidium peninsulae	Palo verde
14	Scrophulariaceae	Penstemon centrathifolius	Romerillo
15	-	-	-
16	-	Penstemon spectabilis	Pichel
17	-	Penstemon antirrhinoides	Penstemon amarillo
18	-	Castilleja bryantii	Brocha india, hierba del cáncer
19	-	Galvezia junceae	Snapdragon
20	-	Mimulus longiflorus	Mimulus amarillo o mokey flower
21	Bignoniaceae	Chilopsis linearis	Mimbres
22	-	-	-
23	Acanthaceae	Beloperone californica	Chuparosa
24	Fagaceae	Quercus agrifolia	Encino negro
25	-	Quercus engelmannii	Encino
26	-	Quercus dumosa	Encino chaparro
27	-	Quercus wislizenii	Encino
28	Mimosoideae	Prosopis glandulosa	Mezquite
29	Mimosoideae	Prosopis pubescens	Tornillo
30	Mimosoideae	Prosopis globosa	Mezquitillo
31	-	Prosopis juliflora	Mezquite amargo
32	-	Prosopis palmeri	Palo hierro
33	Mimosoideae	Acacia greggii	Uña de gato
34	-	Acacia farnesiana	Uña de gato
35	-	Acacia californica	Uña de gato
36	-	Acacia brandegeana	Vinorama
37	-	Acacia peninsularis	Palo chino
38	Rhamnaceae	Adolphia californica	Junco
39	-	Ceanothus cuneatus	Lila
40	-	Ceanothus verrucosus	Lila
41	-	Ceanothus megacarpus	Lila
42	-	Ceanothus spinosus	Lila
43	-	Ceanothus rigidus	Lila
44	-	Ceanothus oligantus	Lila
45	-	Isomeris arborea	Garbancillo
46	Rosaceae	Cercocarpus betuloides	Ramon
47	-	Cercocarpus minutiflorus	Ramon de montaña
48	-	Prunus ilicifolia	Islaya
49	-	Prunus fremontii	Durasnilla
50	-	Adenostoma fasciculatum	Chamiso vara prieta
51	-	Adenostoma sparsifolium	Chamiso rojo
52	-	Rosa minutifolia	Rosa silvestre, Colguinero
53	-	Heteromeles arbutifolium	Toyon
54	Polygonaceae	Eriogonum fasciculatum	Maderista
55	Rhamnaceae	Ramnus californica	Hierba de oso
56	Crassulaceae	Dudleya pulverulenta	Siempreviva blanca
57	Crassulaceae	Dudleya attenuata	Siempreviva
58	Crassulaceae	Dudleya lanceolata	Siempreviva
59	-	Dudleya albiflora	Siempreviva
60	-	Dudleya acuminata	Siempreviva
61	-	Salvia apiana	Salvia blanca
62	Labiatae (Lamiaceae)	Salvia clevelandii	Salvia
63	-	Salvia mellifera	Salvia negra
64	-	Salvia columbariae	Chia
65	-	Salvia munzii	Salvia
66	-	Salvia pachyphila	Salvia rosa
67	-	Salvia brandegeei	-
68	-	Salvia californica	-
69	-	Salvia similis	-
70	-	Salvia eremostachya	-
71	-	Salvia platycheila	-
72	Fouquieriaceae	Fouquieria splendens	Ocotillo
73	-	Fouquieria diguetii	Palo adan
74	-	Fouquieria columnaris	Cirio



Conclusiones

“ Aunque la agricultura en México se encuentra limitada en superficie, es necesario buscar alternativas al uso de los recursos vegetales, incluidos los de las zonas áridas y semiáridas del desierto Chihuahuense para la diversificación productiva rural. La apicultura se propone como una alternativa viable, ya que es una forma sustentable de agricultura: es benéfica para el ambiente y genera recursos económicos y alimenticios que promueven el arraigo de los habitantes de las zonas rurales a su entorno, además de incrementar los rendimientos potenciales de cultivos alimenticios y forrajeros. ”



Bibliografía

[Anuario Alaniz G., L. 2002. Factores Potenciales y Limitantes para el Desarrollo de la Apicultura en el Norte de Baja California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. México. 142 pp.

Echazarreta, C. M.; Quezada-Euán, J. J. G; Medina, L. M y Pasteur, K. L. 1997. Beekeeping in the Yucatan peninsula: development and current status. Bee World. 78(3): 115-127.

Hussein, M. H. 2001. (en línea) Apicultura en África. I. Los países del Norte, Este, Nordeste y Oeste del continente africano. Apiacta 1/2001, p 32 – 48.

Ichikawa, N., Sasaki, N., Obata H. 2000. Monitoring Foraging Range of Apis mellifera in the Central District of Tokyo through Dance Communication. En: Matuska, M., Verma, L. R., Wongsiri, S., Shrestha, K. K., Partap, V. (Editores). Asian Bees and Beekeeping. Progress of Research and Development. Proceedings of Fourth Asian Apicultural Association. International Conference, Kathamandu, March 23-28, 1998. Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA. Printed in India. 37-38.

	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
75	Anacardiaceae	Rhus laurina	Calabaza de coyote
76	Anacardiaceae	Rhus lentic	Toloache
77	-	Rhus integrifolia	Toloache (belladona)
78	Anacardiaceae	Rhus trilobata	Sauco
79	Rosaceae	Prunus ilicifolia	Manzanita
80	Salicaceae	Populus brandegeei	Manzanita
81	-	Populus fremontii	Manzanita
82	-	Populus tremuloides	Palo blanco
83	-	Populus macdougalii	Manzanita
84	-	Salix gooddingii	Casia del desierto
85	-	Salix laevigata	Ojasen
86	-	Salix lasiolepis	Palo verde, Dipuga
87	Faboideae	Lotus scoparius	Palo verde
88	Faboideae	Lupinus succulentus	Romerillo
89	Papaveraceae	Argemone ochroleuca	-
90	-	Argemone gracilenta	Pichel
91	-	Argemone subintegrifolia	Penstemon amarillo
92	-	Dendromecon rigida	Brocha india, hierba del cáncer
93	-	Eschscholzia californica	Snapdragon
94	-	Eschscholzia elegans	Mimulus amarillo o mokey flower
95	-	Eschscholzia palmeri	Mimbres
96	-	Eschscholzia parishii	-
97	-	Romneya coulteri	Chuparosa
98	Asclepiadaceae	Asclepia subulata	Encino negro
99	-	Asclepia albicans	-
100	-	Asclepia erosa	Encino chaparro
101	-	Asclepia masonii	Encino
102	Astereae	Aster spinosus	Mezquite
103	-	Bacharis glutinosa	Tornillo
104	-	Bacharis sarathroides	Mezquitillo
105	-	Encelia farinosa	Mezquite amargo
106	-	Helianthus gracilentus	Palo hierro
107	-	Helianthus niveous	Uña de gato
108	-	Viguiera deltoidea	Uña de gato
109	-	Viguiera lasceolata	Uña de gato
110	-	Viguiera tomentosa	Vinorama
111	-	Pluchea sericea	Palo chino
112	-	Artemisia tridentata	Junco
113	Hydrophyllaceae	Eriodictyon angustifolium	Lila
114	-	Eriodictyon trichocalix	Lila
115	Aesculaceae	Aesculus parry	Lila
116	Zigophyllaceae	Larrea tridentata	Lila
117	Juncaceae	Juncus acutus	Lila
118	Tamaricaceae	Tamarix aphylla	Lila
119	Flora melífera	Tamarix parviflora	Garbancillo
120	-	Cucurbita pepo	Ramon
121	-	-	Ramon de montaña
122	-	-	Islaya
123	-	-	Durasnilla
124	-	-	Chamiso vara prieta
125	-	Citrus reticulata	Chamiso rojo
126	-	-	Rosa silvestre, Colguinero
127	-	-	Toyon
128	-	-	Maderista
129	-	-	Hierba de oso
130	-	-	Siempre viva blanca
131	-	Fragaria vesca	Siempre viva
132	-	Vitis vinifera	Siempre viva
133	-	Vitis peninsularis	Siempre viva
134	-	-	Siempre viva
135	-	Citrullus lanatus	Salvia blanca
136	-	Cynodon dactylon	Salvia
137	-	-	Salvia negra
138	-	-	Chia
139	-	-	Salvia
140	-	-	Salvia rosa
141	-	-	-
142	-	-	-
143	-	Eriobotrya japonica	-
144	-	Chrysanthemum segetum	-
145	-	Solanum tuberosum	-
146	-	Geraniaceae	Ocotillo
147	-	-	Palo adan
148	-	Magnolia grandiflora	Cirio

Listado de flora de importancia melífera de la zona norte de México:

[Anuario Alaniz G., L. 2002. Factores Potenciales y Limitantes para el Desarrollo de la Apicultura en el Norte de Baja California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. México. 142 pp.

Echazarreta, C. M.; Quezada-Euán, J. J. G; Medina, L. M y Pasteur, K. L. 1997. Beekeeping in the Yucatan peninsula: development and current status. Bee World. 78(3): 115-127.

Hussein, M. H. 2001. (en línea) Apicultura en África. I. Los países del Norte, Este, Nordeste y Oeste del continente africano. Apiacta 1/2001, p 32 - 48.

Ichikawa, N., Sasaki, N., Obata H. 2000. Monitoring Foraging Range of *Apis mellifera* in the Central District of Tokyo through Dance Communication. En: Matuska, M., Verma, L. R., Wongsiri, S., Shrestha, K. K., Partap, V. (Editores). Asian Bees and Beekeeping. Progress of Research and Development. Proceedings of Fourth Asian Apicultural Association. International Conference, Kathmandu, March 23-28, 1998. Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA. Printed in India. 37-38.

Illgner, P. M., Nel, E. L., Robertson, M. P., 1998. Beekeeping and Local Self-Reliance in Rural Southern Africa. Geographical Review, 88(3):349-362.

Molan, C. P. 1998. The Limitations of the Methods of Identifying the Floral Source of Honeys. Bee World 79 (2): 59-68.

Nel, E., Illinger, P. M., Wilkins, K., Robertson, M. P. 2000. Rural Self-Reliance in Bondolfi, Zimbabwe: the role of beekeeping. Geographical Journal, 166 (1): 26-34.

Ramallo, M., Guibu, L. S., Giannini, T. C., Kleinert-Giovannini, A., Imperatriz-Fonseca, V. L. 1991. Characterization of some Brazilian Honey and Bee Plants through pollen analysis. Journal of Apicultural Research, 30(2)81-86.

SAGARPA. 2003. (en línea) Producción Ganadera en México. Coordinación General de Ganadería. Disponible: <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/> (Consultado el 20 de julio de 2003).

Sawyer, R. 1998. Honey Identification. Cardiff Academic Press. Great Britain. 115 pp.

	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
149	-	<i>Tacoma stans</i>	Palo de arco
150	Myrtaceae	<i>Eucalyptus camardulensis</i>	Eucalipto
151	-	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
152	-	-	Cepillo
153	-	<i>Schynus molle</i>	Pirul
154	-	<i>Schynus terebentifolius</i>	Pirul brasileño
155	Flora melífera	-	Abeto
156	-	<i>Pinpinella anisum</i>	Anís
157	Compositae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león
158	-	<i>Brassica nigra</i>	Mostacilla
159	Tamaricaceae	<i>Tamarix ramosissima</i>	Pino salado
160	-	<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaco silvestre





Sargazo: Innovación sostenible en Chihuahua

Génesis V. Buitimea-Cantúa^[1], Luis Quihui Cota^[1], Carmen Alejandra Méndez Hurtado^[2], Guillermo Alberto Barraza Garza^[2], Raymundo Rivas Cáceres^[2]

[1] Departamento de Nutrición

[2] Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Cd. Juárez



*Autor de correspondencia: eaespinoza@uach.mx



El sargazo (*Sargassum* sp.) es una macroalga marina de color café que, desde su llegada atípica a las costas del Caribe mexicano en el año 2013, ha despertado un creciente interés por sus características físicas —como el tamaño y la forma— así como por la diversidad de compuestos biológicos que posee.^[2,3]

Gracias a estos compuestos, el sargazo ha sido utilizado desde tiempos ancestrales en diversas culturas.^[4] En la medicina tradicional china, por ejemplo, se empleaba para tratar el bocio, los trastornos tiroideos y la inflamación, debido a su alto contenido de yodo y otras sustancias bioactivas.^[5] Asimismo, los agricultores costeros lo aprovechaban como fertilizante natural,^[6] ya que, al secarse y descomponerse, liberaba minerales beneficiosos para el suelo. También se utilizaba como alimento y forraje en momentos de escasez,^[7] y en algunas regiones costeras se incorporaba en la construcción de viviendas rurales, mezclado con barro o arcilla como aislante natural.^[8]

En la actualidad, el sargazo se ha convertido en un material de interés para distintas industrias.^[9] En la agricultura, se emplea como fertilizante orgánico, mejorador del suelo y estimulante del crecimiento vegetal.^[10] En el sector farmacéutico y cosmético, destaca por sus compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, utilizados en cremas, suplementos y productos de cuidado personal. Igualmente, se analiza la posibilidad de usarlo como alimento complementario de bajo costo para animales, y en la fabricación de bioplásticos y envases sostenibles.^[2,3,11,13]

De cara al futuro, el sargazo tiene un gran potencial energético.^[14] Investigaciones actuales evalúan su uso en la producción de biocombustibles, como bioetanol y biogás, aprovechando su alto contenido en carbohidratos.^[15] También se estudia su aplicación como biorremediador en la purificación de agua, especialmente para la remoción de metales pesados y contaminantes, así como en la elaboración de textiles y biocompuestos (fibras para ropa, muebles o plásticos biodegradables).^[16] Por otro lado, sus compuestos están siendo analizados en el ámbito de la investigación farmacológica y médica por sus posibles efectos antivirales, anticancerígenos y antimicrobianos.^[17]

En conclusión, el sargazo es un material natural, renovable y rentable, con una amplia gama de aplicaciones que pueden convertirse en soluciones sostenibles en beneficio del medio ambiente, la economía y la salud humana.

Aunque el sargazo afecta principalmente a zonas costeras, ofrece oportunidades para estados como Chihuahua, que pueden aprovechar su perfil agroindustrial y tecnológico para valorizar el sargazo como materia prima sostenible.^[18,19] Por ejemplo, entre algunas de las potenciales aplicaciones arriba descritas, el sargazo puede ser usado para la producción de fertilizante orgánico y suplemento para el ganado como alternativa viable en algunas regiones áridas del estado, donde se requieren soluciones eficientes para la nutrición del suelo y la alimentación animal durante periodos de sequía.^[20,21]

Además, la presencia de universidades, centros de investigación y parques tecnológicos en Chihuahua abre la puerta a la generación de proyectos orientados al desarrollo de bioplásticos, biocombustibles y materiales de construcción derivados del sargazo.^[22,23] Este tipo de innovación también puede ser impulsada mediante alianzas interregionales con estados costeros, facilitando la transferencia de biomasa, conocimientos y tecnologías.^[24,25] Finalmente, el tema puede servir como eje transversal en programas educativos de ciencia aplicada, biotecnología ambiental y diseño industrial, incentivando la formación de jóvenes chihuahuenses con visión ecológica e impacto nacional.

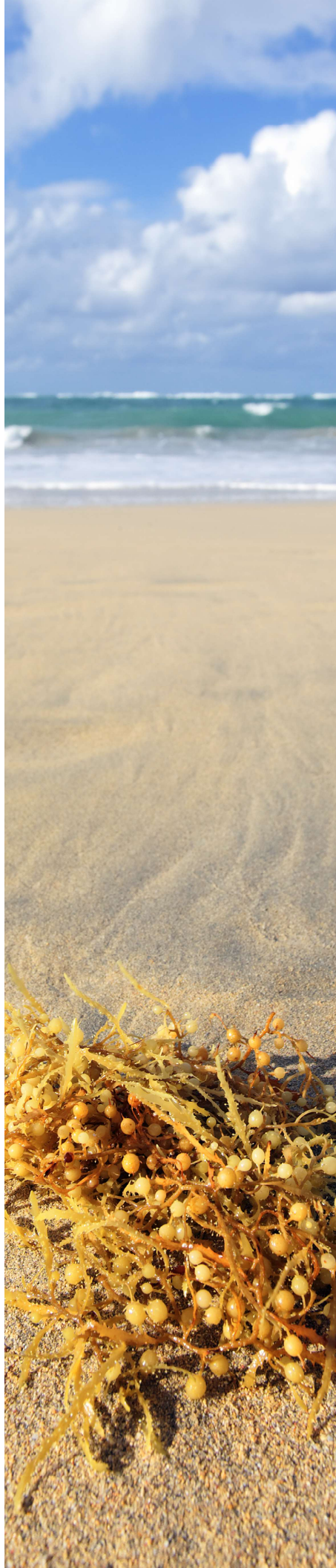
Asimismo, el enfoque de economía circular puede encontrar en el sargazo un insumo ideal para empresas comprometidas con la sostenibilidad, al integrarlo en cadenas productivas que generen valor ambiental y económico.^[26]

En este sentido, Chihuahua, aunque alejado del mar, tiene el potencial de convertirse en un actor clave dentro del modelo de aprovechamiento integral del sargazo, contribuyendo con soluciones tecnológicas, productivas y sostenibles que benefician tanto al medio ambiente como al desarrollo regional.



Referencias

- [1] Phillips, J. A., & Blackshaw, J. K. (2011). Extirpation of macroalgae (*Sargassum* spp.) on the subtropical east Australian coast. *Conservation biology*, 25(5), 913-921.
- [2] Rushdi, M. I., Abdel-Rahman, I. A., Saber, H., Attia, E. Z., Abdelraheem, W. M., Madkour, H. A., ... & Abdelmohsen, U. R. (2020). Pharmacological and natural products diversity of the brown algae genus *Sargassum*. *RSC advances*, 10(42), 24951-24972.
- [3] Rossignolo, J. A., Duran, A. J. F. P., Bueno, C., Martinelli Filho, J. E., Junior, H. S., & Tonin, F. G. (2022). Algae application in civil construction: A review with focus on the potential uses of the pelagic *Sargassum* spp. biomass. *Journal of Environmental Management*, 303, 114258.
- [4] Liu, L., Heinrich, M., Myers, S., & Dworjanyn, S. A. (2012). Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in Traditional Chinese Medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal of ethnopharmacology*, 142(3), 591-619.
- [5] Lei, Z., Qin, X., Yang, Y., Xu, M., & Zeng, N. (2025). Recent advances of *Sargassum pallidum* in chemical and biological aspects. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1492671.
- [6] Martínez-Martínez, E., Slocum, A. H., Ceballos, M. L., Aponte, P., & Bisonó-León, A. G. (2025). Beyond the Bloom: Invasive Seaweed *Sargassum* spp. as a Catalyst for Sustainable Agriculture and Blue Economy—A Multifaceted Approach to Biodegradable Films, Biostimulants, and Carbon Mitigation. *Sustainability*, 17(8), 3498.
- [7] Al-Khalaifah, H., & Uddin, S. (2022). Assessment of *sargassum* sp., *spirulina* sp., and *gracilaria* sp. as poultry feed supplements: Feasibility and environmental implications. *Sustainability*, 14(14), 8968.
- [8] López-Sosa, L. B., Rodríguez-Torres, G. M., Rodríguez-Martínez, R. E., Herrera-Ramírez, M., Corral-Huacuz, J. C., García, C. A., & Morales-Máximo, M. (2025). Multifunctional characterization of cement-*Sargassum* composites for application as bioconstruction materials. *Journal of Building Physics*, 48(5), 794-820.



- [9] Amador-Castro, F., García-Cayuela, T., Alper, H. S., Rodríguez-Martínez, V., & Carrillo-Nieves, D. (2021). Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications: Current trends and challenges. *Journal of Environmental Management*, 283, 112013.
- [10] Senthilkumar, S., Kuppusamy, S., Palai, S., Rajanbabu, V., & Vennila, A. (2024). Exploring Sargassum Extract as a Bio-stimulant: Advancements and Benefits in Soil-Plant Systems—a Review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(22), 3638-3648.
- [11] Baloch, G. N., Tariq, S., Ehtesham-ul-Haque, S., Athar, M., Sultana, V., & Ara, J. (2013). Management of root diseases of eggplant and watermelon with the application of asafetida and seaweeds. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86(1).
- [12] Sharma, H. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., & Martin, T. (2014). Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of applied phycology*, 26, 465-490.
- [13] Moubayed, N. M., Al Hour, H. J., Al Khulafi, M. M., & Al Farraj, D. A. (2017). Antimicrobial, antioxidant properties and chemical composition of seaweeds collected from Saudi Arabia (Red Sea and Arabian Gulf). *Saudi journal of biological sciences*, 24(1), 162-169.
- [14] Speede, R., Alleyne, K., & Cox, S. A. L. (2024). Innovations for Sargassum Resilience.
- [15] Owusu, W. A., Adjei Marfo, S., Osei, H., Supap, T., & Idem, R. (2025). Pelagic Sargassum waste as an excellent feedstock for bioethanol production: hydrolysis optimisation and kinetics. *Biofuels*, 1-9.
- [16] Ordóñez, J. I., Cortés, S., Maluenda, P., & Soto, I. (2023). Biosorption of heavy metals with algae: Critical review of its application in real effluents. *Sustainability*, 15(6), 5521.
- [17] Muñoz-Losada, K. J., Gallego-Villada, M., & Puertas-Mejía, M. A. (2025). An Overview of Sargassum Seaweed as Natural Anticancer Therapy. *Future Pharmacology*, 5(1), 5.
- [18] Mata-Sandoval, J. C., & Gutiérrez-Villarreal, M. (2020). Innovación y transferencia tecnológica en el norte de México: una visión regional. *CienciaUAT*, 15(1), 10-19.
- [19] Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua. (2022). Plan estatal de innovación tecnológica y sostenibilidad. Gobierno del Estado de Chihuahua.
- [20] Montañón, A., Reyes, R., & Vázquez, M. (2020). Sargassum spp.: un recurso con potencial biotecnológico para la elaboración de biofertilizantes en agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 783-794. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2142>
- [21] FAO. (2021). Uso de residuos agroindustriales y biomasa en alimentación animal en zonas áridas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- [22] Arellanos Huerta, M. (2019). “ Desarrollo de un biopolímero a partir de residuos orgánicos ” [Universidad abierta y a distancia de México]. http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/196/1/PT2_2091-1_ES1410912236.pdf
- [23] González, I. E. L., Constantino, C. A. L., & Pérez, P. A. L. (2023). La invasión de sargazo: de un problema ambiental a un área de oportunidad. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 10(10), 18-26.
- [24] Espinosa, L. A., & Li Ng, J. J. (2020). The risk of sargassum to the economy and tourism of Quintana Roo and Mexico. Working Paper 20/02. Mexico City: BBVA Research.
- [25] Castro Romero, D. T. G., Cerdeira Estrada, S., Escobar Briones, D. E., López López, V., Muñoz Sevilla, D. P., Pedrozo Acuña, A., Sheinbaum Pardo, J., van Tussenbroek, D. B., Zavala Hidalgo, J., Acosta González, G., Aldana Aranda, D. D., Alfredo Arellano Guillermo, B., Arellano Verdejo, J., Rebeca Betancourt Galindo, D., Bravo Quezada, A., Buitrón Méndez, G., Adán Caballero Vázquez, J., Lilia Collado Vides, D., Díaz Martínez, S., ... Roo, Q. (2020). Agenda de ciencia, tecnología e innovación para la atención, adaptación y mitigación del arribo de sargazo pelágico a México 1 Agenda de ciencia, tecnología e innovación.
- [26] Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92-99.
- [27] Arellanos Huerta, M. (2019). “ Desarrollo de un biopolímero a partir de residuos orgánicos ” [Universidad abierta y a distancia de México]. http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/196/1/PT2_2091-1_ES1410912236.pdf



Rescatando a las sandías perdidas en el campo

Daniela Sánchez Aldana Villarruel y
Dayanira Morales Corral

Universidad Autónoma de Chihuahua



Cada año, en Chihuahua, toneladas de sandías se pierden en los campos. No es un detalle menor, es un problema ambiental, económico y social que se repite temporada tras temporada. La sobreproducción, las sequías, la caída de precios y la exigencia de estándares comerciales estrictos hacen que muchas frutas nunca salgan del suelo. En algunas regiones del estado, se han reportado pérdidas superiores al 50% de la cosecha, como la reducción del 54% en el Valle de Zaragoza debido a la sequía^[1]. La caída de precios es otro factor importante que afecta a los agricultores^[2]. Ese volumen enorme de frutos abandonados en el campo representa recursos ecológicos desperdiciados y dinero que no regresa a los productores que trabajan la tierra.

Para entender por qué tantas sandías terminan en el campo, hay que distinguir entre dos términos: pérdida y desperdicio. La pérdida ocurre antes de que los frutos o vegetales lleguen al mercado: el clima, los precios, la calidad comercial o las prácticas de cultivo los dejan atrás. El desperdicio sucede después, cuando el alimento ya salió del campo, llega al consumidor y aun así termina en la basura. Y dentro de esa pérdida hay un elemento clave que solo se entiende caminando entre las plantas, lo que los productores conocen como “el descole”. El descole es una práctica común entre los huertos.

El productor quita los frutos pequeños o mal formados para que la planta concentre su energía en los frutos principales. En el caso de la sandía, este proceso es necesario para asegurar sandías grandes y aptas comercialmente. Pero deja atrás muchas otras, completas y sanas, que nunca tendrán oportunidad de venderse. Son sandías jóvenes, llenas de agua, nutrientes y, sobre todo, cáscara rica en pectina, citrulina y otros compuestos con actividad bioactiva. Ahí comienza una parte importante de la pérdida: una pérdida que forma parte natural del ciclo de los cultivos.

A esa pérdida inevitable se suma la pérdida evitable: la fruta que no se cosecha por falta de compradores, por sobreproducción o porque no vale la pena económicamente llevarla al campo. De un modo u otro, el resultado es el mismo: toneladas de biomasa sin aprovechar.

Pero dentro de estas sandías perdidas hay algo más que pulpa y esa rica agua fresca. La cáscara, que suele verse como un desecho sin valor, representa aproximadamente el 30-40% del peso total de la fruta y contiene compuestos bioactivos de creciente interés, dentro de los que destacan la citrulina, un aminoácido usado en nutrición y salud cardiovascular, y la pectina, un polisacárido esencial en alimentos usado como aditivo natural y funcional^[3, 4, 5]. La concentración de ambos, en la cáscara es suficientemente alta para convertir lo que hoy se considera basura en un recurso valioso.

La citrulina es un aminoácido no esencial que tiene una función clave en el ciclo de la urea y favorece la producción de óxido nítrico, una molécula que dilata vasos sanguíneos y mejora el flujo sanguíneo.

Por eso se usa en productos para deportistas, bebidas funcionales y suplementos enfocados en resistencia física^[6]. La pectina, por otra parte, forma geles estables, da textura, emulsiona y actúa como barrera. En la industria alimentaria se utiliza ampliamente para la elaboración de mermeladas, lácteos, bebidas y productos bajos en grasa. También, la pectina es uno de los materiales más estudiados para reemplazar plásticos o materiales de un solo uso, como envases comestibles o biodegradables^[4, 7], ya que su estructura química permite formar láminas estables y seguras para alimentos.

Es así como se ha propuesto llevar a cabo la recuperación y caracterización de dichos compuestos como una forma sostenible para aprovechar a las sandías provenientes de pérdidas en el campo. Esta recuperación se vuelve más idónea si se hace a través de procesos ecoamigables, es decir, procesos que reducen el uso de energía, agua, químicos y residuos, protegiendo al ambiente mientras cumple su función científica o industrial que contribuya a transformar los compuestos obtenidos en nuevos productos de valor agregado, por ejemplo el desarrollo de un alimento funcional enriquecido con pectina y citrulina o una película de empaque comestible capaz de sustituir parte del plástico que usamos a diario.

En lugar de seguir viendo estas pérdidas como un problema inevitable, estas propuestas plantean un ciclo donde los residuos regresan al sistema como insumos. Durante la extracción se emplean métodos con ultrasonido, hidrólisis controlada y precipitación, que reducen el consumo de energía y solventes. Después, cada compuesto se caracteriza para asegurar su estabilidad, su pureza y su eficiencia en aplicaciones alimentarias. Una vez caracterizada la composición y funcionalidad química y biológica de dichos compuestos, es posible el desarrollo de un alimento funcional.

Aquí ya no solo importa extraer los compuestos, sino demostrar que sus propiedades se mantienen y que aportan beneficios reales. La pectina define la textura, la viscosidad y la estabilidad de una matriz alimenticia o una matriz estructural para elaborar una película de empaque. Por su parte, la citrulina puede apoyar la salud vascular, reducir la fatiga y mejorar el rendimiento físico. Una vez generado un prototipo de un alimento funcional, este se somete a pruebas sensoriales, estudios de estabilidad y análisis microbiológicos para estimar su vida útil. No se trata de un alimento improvisado: es un producto respaldado por pruebas químicas, físicas, microbiológicas y sensoriales.

En lo que respecta al desarrollo de películas comestibles a base de pectina, el objetivo es su biodegradabilidad y mantener su integridad durante su uso. En el laboratorio, la pectina extraída se tomará como matriz estructural y se combina con glicerol como plastificante para obtener láminas flexibles y resistentes. Se evaluarán sus propiedades mecánicas, de barrera a vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono, el espesor, el color y la actividad antimicrobiana y antioxidante.

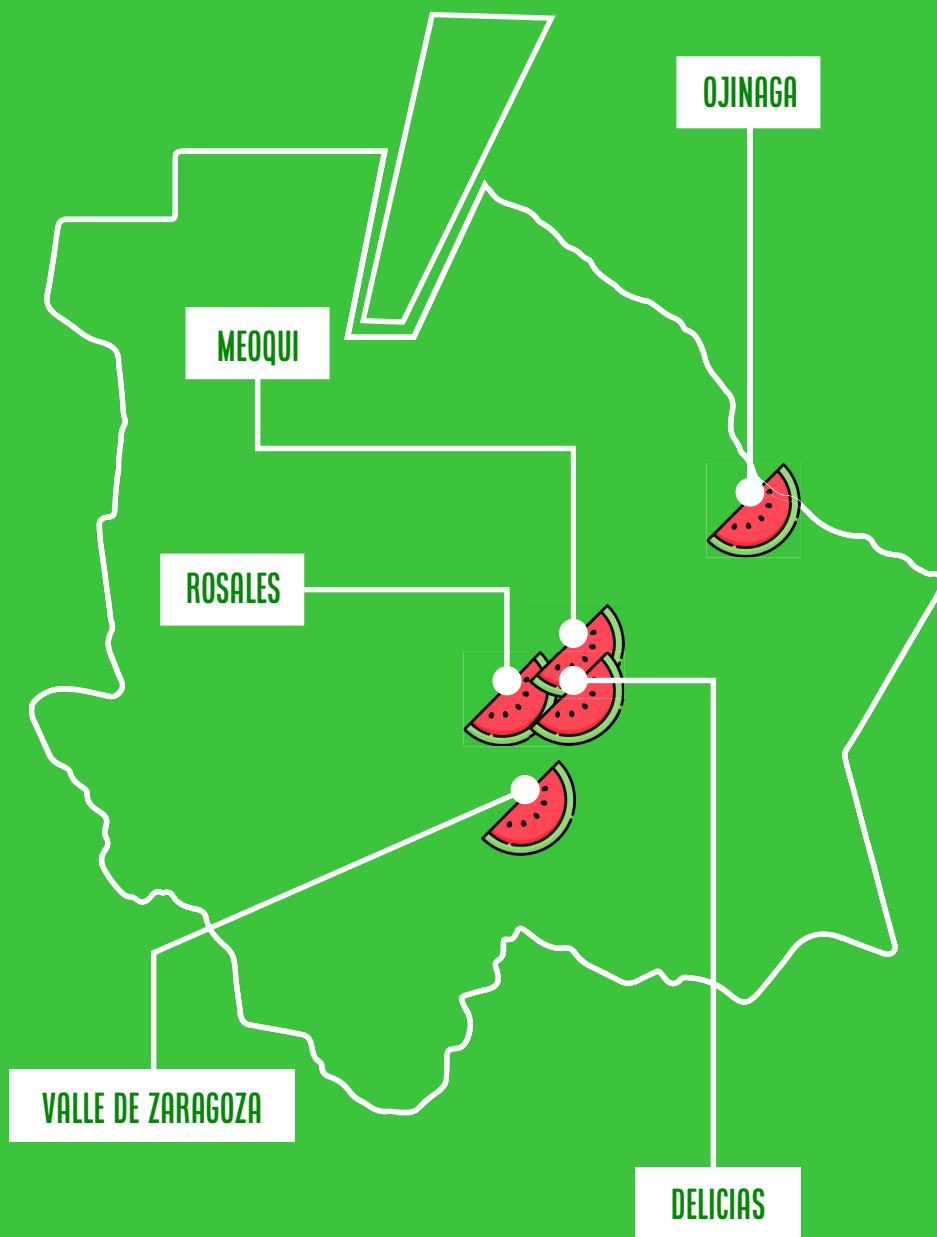
Las metodologías se llevarán de acuerdo con las metodologías descritas por Sánchez Aldana et al.^[8, 9]. Con esto, se busca obtener un material funcional que se degrade sin generar residuos tóxicos y, si el producto lo permite, que incluso pueda comerse junto con el alimento que envuelve.

Lo que vuelve relevante esta propuesta no es solo el desarrollo tecnológico. Es su capacidad para resolver varios problemas a la vez. La región pierde frutos por motivos fuera del control de los productores. Pero estas pérdidas pueden convertirse en materia prima para productos innovadores y sostenibles. Esto abre oportunidades económicas para pequeños agricultores, reduce las pérdidas y el desperdicio, aprovecha un recurso disponible en grandes cantidades y promueve tecnologías limpias.

Las sandías ya no tienen que quedarse en el campo. Pueden transformarse en ingredientes funcionales, en envases biodegradables y en una nueva cadena de valor que conecte ciencia, agricultura y sostenibilidad. Y tal vez eso sea lo más valioso de esto, las sandías que nunca llegaron al mercado (las pequeñas, las imperfectas, las que no valía la pena cosechar) pueden convertirse en ingredientes nutritivos, en materiales biodegradables y en productos que aporten a la salud. A veces, la solución está justo ahí, tirada en el campo. Solo hace falta volver a mirar aquello que dimos por perdido. 🌱



MUNICIPIOS PRODUCTORES de Sandía EN CHIHUAHUA



Referencias

[1] Azteca Noticias Chihuahua. (2024, 17 de junio). Sequía en Valle de Zaragoza reduce la producción de sandía en un 54%. TV Azteca Chihuahua.

[2] Lozano T., C. (2024, 20 de julio). Sufren agricultores por caída de precios en cosechas. El Diario.

[3] Kamana, E., Hakizimana, J. N., Mushirabwoba, J. B., Tuyizere, J., & Mushimiyimana, L. (2023). Physicochemical characteristics of citrulline extracted from watermelon peels. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 8(4), 163-171.

[4] Petkowicz, C. L. O., Vriesmann, L. C., & Williams, P. A. (2016). Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. *Food Hydrocolloids*.

[5] Rimando, A. M., & Perkins-Veazie, P. (2005). Determination of citrulline in watermelon rind. *Journal of Chromatography A*, 1078(1-2), 196-200.

[6] Smeets, E. T., Mensink, R. P., & Joris, P. J. (2022). Effects of l-citrulline supplementation and watermelon consumption on longer-term and postprandial vascular function and cardiometabolic risk markers: a meta-analysis of randomised controlled trials in adults. *British Journal of Nutrition*, 128(9), 1758-1770.

[7] Méndez, D. A., Fabra, M. J., Martínez-Abad, A., Martínez-Sanz, M., Gorria, M., & López-Rubio, A. (2021). Understanding the different emulsification mechanisms of pectin: Comparison between watermelon rind and two commercial pectin sources. *Food Hydrocolloids*, 120, 106957.

[8] Sánchez Aldana, D., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillón, G. V., & Aguilar, C. N. (2014). Characterization of edible films from pectic extracts and essential oil from Mexican lime. *CyTA - Journal of Food*, 13(1), 17-25.

[9] Sánchez Aldana, D., Andrade-Ochoa, S., Aguilar, C. N., Contreras-Esquivel, J. C., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). Antibacterial activity of pectic-based edible films incorporated with Mexican lime essential oil. *Food Control*, 50, 907-912.



Combustibles hechos de agua, aire y sol



Dana Paola García Hernández^[1], Sofía León Velázquez^[1],
Carlos Eduardo Guzmán Martínez^[2] y Javier Tovar Facio^[1]

[1] Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua

[2] Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro



*Autor de correspondencia: jtovarf@uach.mx



Todas las actividades que realizamos y productos que consumimos requieren del consumo de energía de forma directa o indirecta. La electricidad, nuestros aparatos electrónicos, el agua y la comida que consumimos requirieron de energía en toda su cadena de valor para llegar a nosotros (extracción, procesamiento/producción, transporte y disposición final) (INECC, 2018). Además, este consumo crece a medida que aumenta la población, se desarrolla la industria o cuando se consumen más bienes y servicios. Actualmente, todo el mundo busca la transición hacia fuentes de energía más limpias. Por ejemplo, el uso de la energía solar y la energía eólica crecen cada año (IEA, 2025) y cada vez se apuesta más por electrificar el transporte, los servicios en los hogares y los procesos industriales. Sin embargo, una parte importante de las actividades que se requieren para mantener nuestro estilo de vida no pueden electrificarse fácilmente.

Sectores como la aviación, el transporte marítimo, la industria del cemento, el acero y algunas plantas de generación eléctrica dependen de combustibles con características muy específicas cuya función no se puede replicar fácilmente usando electricidad. Ejemplo de ello son las altas temperaturas que requiere la fundición de metales o la gran densidad energética de los combustibles fósiles que permite a los barcos y aviones recorrer grandes distancias. Por tanto, lo más probable es que aun cuando se logre una electrificación masiva, estos sectores seguirán necesitando combustibles que se puedan almacenar, transportar y utilizar con la flexibilidad que ofrecen los combustibles fósiles que usamos hoy en día.

No obstante, el reto de frenar el aumento de la temperatura promedio del planeta, para detener las potenciales consecuencias del cambio climático (Abbass et al., 2022), nos obliga a reducir de forma significativa las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero relacionadas con nuestras actividades. Cada unidad de energía que utilizamos está asociada con la generación de emisiones directa o indirectamente. Las emisiones directas son fáciles de entender, cuando el motor de nuestro auto quema gasolina se transforma en gases de efecto invernadero. Por otro lado, las emisiones indirectas son más difíciles de observar, por ejemplo, cuando utilizamos una lavadora usamos electricidad y aunque nuestra lavadora no tiene gases de escape sabemos que la electricidad proviene, en Chihuahua, de una planta de ciclo combinado que quema gas natural.

Incluso cuando la electricidad viene de paneles fotovoltaicos se tienen emisiones indirectas (en menor medida) ya que cada panel fotovoltaico necesita de minería para extraer los materiales para su construcción, manufactura y transporte que requirieron del uso de combustibles fósiles (Guerra et al., 2022).

En todo el mundo, incluyendo a México, se requiere encontrar alternativas que disminuyan las emisiones de estos sectores difíciles de descarbonizar sin comprometer la seguridad energética y manteniendo la flexibilidad que ofrecen los combustibles fósiles.

En este sentido, existe una alternativa prometedora, los electrocombustibles (también conocidos como e-fuels o combustibles sintéticos) que pueden fabricarse usando únicamente CO_2 , agua, aire y energía renovable. La idea es la siguiente, si podemos usar energía renovable para capturar CO_2 , obtener hidrógeno verde del agua y para combinarlos a través de reacciones químicas, es posible producir combustibles que no provengan de los pozos de petróleo, pero con las mismas características del gas natural, la gasolina o el diésel (Shi et al., 2024).

Pero, ¿qué tan real es esta alternativa? ¿Es técnicamente viable? ¿Podrían los electrocombustibles ser sostenibles a gran escala? Intentaremos responder estas preguntas a continuación.

¿Qué son los electrocombustibles?

Los electrocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos producidos mediante procesos químicos que utilizan electricidad renovable para transformar moléculas simples en sustancias más complejas como las que usamos todos los días para cocinar, producir electricidad o transportarnos. La manera más sencilla de entenderlos es primero explicar sus partes esenciales.

Hidrógeno verde + CO_2 = Electrocombustibles

El hidrógeno verde (H_2)

El hidrógeno es una molécula muy ligera que contiene una gran cantidad de energía. Se puede obtener de diferentes formas, pero cuando obtiene mediante la electrólisis del agua (un proceso en el que se aplica electricidad para separar el agua en hidrógeno y oxígeno) usando electricidad de fuentes renovables le llamamos hidrógeno verde.

Dióxido de carbono capturado (CO_2)

El dióxido de carbono es uno de los compuestos que se producen por la quema de combustibles fósiles y puede capturarse del aire, directamente de procesos industriales o directamente de plantas de generación eléctrica convencionales. En todos los casos, el objetivo es reutilizar CO_2 que sería emitido para producir nuevamente combustible y evitar el consumo de combustible “nuevo” proveniente de fuentes fósiles.

Energía renovable

La clave de los electrocombustibles es que toda la energía que interviene en el proceso de fabricación proviene de fuentes limpias. Esto es lo que puede permitir convertir CO_2 , aire, agua y luz solar en moléculas de combustibles sin agregar emisiones adicionales de CO_2 a la atmósfera.

La síntesis de electrocombustibles

Una vez que se tienen hidrógeno verde y CO_2 se pueden usar como materias primas en procesos químicos como la metanación (para producir gas natural) o la síntesis Fischer-Tropsch que permite combinarlos para formar compuestos como metanol, propano, gasolina diésel y/o queroseno (Singh et al., 2022). Estos productos pueden utilizarse en motores, calderas, turbinas y básicamente en toda la infraestructura ya existente para el almacenamiento y transporte de combustibles fósiles.

Por lo tanto, en lugar de extraer petróleo o gas natural el CO_2 se reutiliza una y otra vez (sin ser un proceso perfecto). Es decir, se captura el CO_2 , se convierte en combustible, se aprovecha y se vuelve a capturar.

Potenciales beneficios ambientales

Los electrocombustibles ofrecen potenciales beneficios para la sostenibilidad que deben ser evaluados técnicamente, económica y ambientalmente para cada caso de estudio sin ser idealizados (Ueckerdt et al., 2021). Algunos de los potenciales beneficios son:

1. La reducción de emisiones de CO_2 . Cuando un electrocombustible se quema, libera CO_2 . Sin embargo, el CO_2 proviene de emisiones capturadas que iban a liberarse a la atmósfera y no de combustibles fósiles extraídos del subsuelo. Por tanto, se considera que el ciclo puede ser neutral en carbono si se combina con captura adicional.

2. Pueden auxiliar a las energías renovables. La energía solar y eólica son abundantes, pero tienen la desventaja de ser variables (su generación depende de las condiciones ambientales) lo que hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de energía. Los electrocombustibles permiten convertir electricidad renovable en compuestos químicos que pueden almacenarse durante semanas, meses o años, lo que podría representar una alternativa que supera algunas desventajas de los sistemas de baterías.

3. Es posible aprovechar la infraestructura existente. Otro aspecto que hace atractivos a los electrocombustibles es que pueden transportarse por ductos, almacenarse en tanques y utilizarse en motores o turbinas ya instaladas actualmente. Esto reduce costos de transición y facilita su adopción de energías renovables de forma indirecta.

4. Permite descarbonizar sectores difíciles. En sectores donde la electrificación no es aún técnicamente viable, los electrocombustibles pueden ser una de las pocas alternativas para mitigar la generación de emisiones. Por ejemplo, mediante el uso de queroseno sintético en la aviación, el uso de metanol o amoníaco verdes en transporte marítimo o usando hidrógeno verde o metano sintético en las centrales de ciclo combinado.

Retos de los electrocombustibles

Aunque los electrocombustibles ofrecen un gran potencial para la mitigación de gases de efecto invernadero, existen retos tecnológicos y económicos que deben tomarse en cuenta (Ueckerdt et al., 2021). Por ejemplo:

1. El alto uso de energía: Los procesos para producir electrocombustibles no son 100 % eficientes. Se requieren grandes cantidades de electricidad renovable para generar hidrógeno, capturar CO₂ y llevar a cabo la síntesis del combustible.

2. Los costos elevados: La producción actual de electrocombustibles es considerablemente más costosa que los combustibles fósiles. Aunque los precios podrían bajar si se invierte en la investigación y desarrollo de procesos como la electrólisis, los sistemas de captura de carbono y el desarrollo de catalizadores para la producción de electrocombustibles.

3. La necesidad de nueva infraestructura: Para producir electrocombustibles a gran escala, se requieren grandes electrolizadores, sistemas de captura de CO₂, plantas, almacenamiento y redes de transporte. Aunque puede usarse mucha de la infraestructura ya existente se requiere infraestructura especializada principalmente para el manejo del hidrógeno verde.

Entonces, los electrocombustibles no podrían reemplazar a todos los combustibles fósiles ni resolver la transición energética en su totalidad.



Sin embargo, pueden aportar soluciones en sectores específicos difíciles de electrificar, permiten aprovechar excedentes de electricidad renovable para almacenar energía en forma química y brindan una alternativa para la circularidad de los sistemas de captura de carbono.

¿Qué podría significar para México?

La transición energética abre una oportunidad única para que México explore la producción y uso de electrocombustibles. Aunque estas tecnologías aún están en desarrollo (Wulf et al., 2020), su potencial se alinea con varias características geográficas, industriales y energéticas de nuestro país. Comprender ese contexto permite visualizar dónde podrían integrarse estas soluciones con la infraestructura existente y qué beneficios podrían ofrecer en el mediano y largo plazo.

México posee uno de los mayores potenciales solares del mundo. Regiones como Sonora, Chihuahua, Coahuila y Baja California registran niveles de irradiación excelentes para centrales solares, lo que permite generar electricidad renovable de manera abundante. También existen zonas con gran potencial eólico como Oaxaca y regiones del norte como Tamaulipas donde ya operan parques eólicos de gran tamaño. Estas condiciones son ideales para producir electrocombustibles.

Muchas de estas industrias operan con altas temperaturas, hornos especializados o combustibles líquidos densos que no pueden sustituirse fácilmente por electricidad. Por ejemplo, la industria del cemento, vidrio y acero. En estos sectores, los electrocombustibles pueden ofrecer una alternativa para reducir emisiones sin reemplazar completamente la infraestructura existente.

Chihuahua es uno de los estados con mayor potencial para participar en la transición hacia combustibles sostenibles debido a su posición geográfica y recursos naturales. Además, nuestro estado cuenta con industrias intensivas en energía incluyendo manufactura, minería, cementera y generación eléctrica convencional lo que lo convierte en un candidato natural para proyectos de electrocombustibles.

También, la ubicación de Chihuahua lo conecta con importantes centros industriales en Texas, Arizona y Nuevo México. Esta cercanía nos coloca en una posición privilegiada para integrar cadenas de suministro con empresas transfronterizas.

¿Cómo se estudian estos sistemas?

La producción, almacenamiento, transporte y uso de electrocombustibles es un tema complejo que involucra múltiples disciplinas científicas. Además, no podemos instalar plantas para experimentar porque esto resultaría muy caro.

Por esta razón, su estudio requiere herramientas avanzadas que permitan analizar no solo los procesos químicos individuales, sino también su integración en sistemas energéticos reales como la red eléctrica o los sistemas de gasoductos. La ingeniería de sistemas de procesos cuenta con herramientas para la simulación, modelación y optimización de la cadena de valor de los electrocombustibles y se utilizan para analizar su factibilidad técnica, económica y ambiental (Palys et al., 2021). Por ejemplo, la simulación se usa para desarrollar gemelos digitales de plantas industriales lo que nos permite evaluar la eficiencia de diferentes procesos para la producción de electrocombustibles como la electrólisis, los sistemas de captura de CO₂ y las reacciones para su producción. La modelación y el desarrollo de modelos de optimización y planeación a largo plazo permiten identificar las mejores zonas de instalación de infraestructura, seleccionar capacidades óptimas de acuerdo con la demanda, minimizar costos/emisiones y analizar escenarios futuros bajo diferentes posibilidades. Además, el uso de herramientas de inteligencia artificial permite integrar grandes volúmenes de datos climáticos, económicos y operativos para mejorar la toma de decisiones e identificar configuraciones sustentables (van de Berg et al., 2022).

Actualmente, el Process Systems Engineering Lab de la Universidad Autónoma de Chihuahua impulsa investigación estratégica en esta área gracias al proyecto CBF-2025-I-2765, aprobado dentro de la Convocatoria de Ciencia Básica y de Frontera 2025 y financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Este proyecto, titulado “Análisis estratégico de combustibles y compuestos derivados de energía renovable: sustentabilidad, independencia energética y tecnológica para México” tiene como objetivo desarrollar herramientas que apoyen la planeación energética de nuestro país. En particular, el proyecto busca evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de los electrocombustibles considerando el aprovechamiento de la infraestructura existente, incluidas las refinerías de México. Este proyecto permitirá que Chihuahua tenga liderazgo en transición energética y genere conocimiento clave para el futuro de la transición energética de México.

Conclusiones

Por esta razón, su estudio requiere herramientas avanzadas que permitan analizar no solo los procesos químicos individuales, sino también su integración en sistemas energéticos reales como la red eléctrica o los sistemas de gasoductos. La ingeniería de sistemas de procesos cuenta con herramientas para la simulación, modelación y optimización de la cadena de valor de los electrocombustibles y se utilizan para analizar su factibilidad técnica, económica y ambiental (Palys et al., 2021). Por ejemplo, la simulación se usa para desarrollar gemelos digitales de plantas industriales lo que nos permite evaluar la eficiencia de diferentes procesos para la producción de electrocombustibles como la electrolisis, los sistemas de captura de CO₂ y las reacciones para su producción. La modelación y el desarrollo de modelos de optimización y planeación a largo plazo permiten identificar las mejores zonas de instalación de infraestructura, seleccionar capacidades óptimas de acuerdo con la demanda, minimizar costos/emisiones y analizar escenarios futuros bajo diferentes posibilidades. Además, el uso de herramientas de inteligencia artificial permite integrar grandes volúmenes de datos climáticos, económicos y operativos para mejorar la toma de decisiones e identificar configuraciones sustentables (van de Berg et al., 2022).

Actualmente, el *Process Systems Engineering Lab* de la Universidad Autónoma de Chihuahua impulsa investigación estratégica en esta área gracias al proyecto CBF-2025-I-2765, aprobado dentro de la Convocatoria de Ciencia Básica y de Frontera 2025 y financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Este proyecto, titulado “Análisis estratégico de combustibles y compuestos derivados de energía renovable: sustentabilidad, independencia energética y tecnológica para México” tiene como objetivo desarrollar herramientas que apoyen la planeación energética de nuestro país. En particular, el proyecto busca evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de los electrocombustibles considerando el aprovechamiento de la infraestructura existente, incluidas las refinerías de México. Este proyecto permitirá que Chihuahua tenga liderazgo en transición energética y genere conocimiento clave para el futuro de la transición energética de México.

“ Como observamos los electrocombustibles pueden representar una alternativa interesante para la transición energética. Las tecnologías que se presentan son una forma de producir combustibles y compuestos limpios utilizando recursos renovables que pueden utilizarse en sectores difíciles de electrificar.

Aunque los electrocombustibles aún enfrentan retos tecnológicos y económicos, su potencial es digno de ser explorado en investigación, especialmente cuando se integra la red eléctrica, el uso energías renovables a gran escala y el uso con captura de CO₂.

Para México, los electrocombustibles podrían convertirse en una herramienta clave para reducir emisiones, fortalecer la seguridad energética y abrir nuevas oportunidades de mercado.

La investigación en ingeniería de sistemas de procesos a través de la simulación, los modelos de optimización y el análisis de escenarios serán fundamentales para analizar el potencial de los electrocombustibles.

Los electrocombustibles no son una solución absoluta. Son una tecnología que tiene potencial para ayudar en sectores donde es muy difícil electrificar que la ingeniería química y la ingeniería de sistemas de procesos tendrán que mejorar. Una de las ventajas principales es que se puede aprovechar gran parte de la infraestructura que ya usamos.

En particular Chihuahua tiene condiciones favorables para explorar esta tecnología. Tiene recursos de energía renovables, actividad industrial importante y capacidad científica para estudiar su factibilidad.

Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research* 2022 29:28, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-19718-6>

Guerra, K., Haro, P., Gutiérrez, R. E., & Gómez-Barea, A. (2022). Facing the high share of variable renewable energy in the power system: Flexibility and stability requirements. *Applied Energy*, 310, 118561. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2022.118561>

IEA. (2025). Renewables 2025. Analysis and forecasts to 2030. <https://www.iea.org/reports/renewables-2025>

INECC. (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático | Gobierno | gob.mx. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

Palys, M. J., Wang, H., Zhang, Q., & Daoutidis, P. (2021). Renewable ammonia for sustainable energy and agriculture: vision and systems engineering opportunities. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 31, 100667. <https://doi.org/10.1016/J.COCHE.2020.100667>

Shi, K., Guan, B., Zhuang, Z., Chen, J., Chen, Y., Ma, Z., Zhu, C., Hu, X., Zhao, S., Dang, H., Guo, J., Chen, L., Shu, K., Li, Y., Guo, Z., Yi, C., Hu, J., & Huang, Z. (2024). Perspectives and Outlook of E-fuels: Production, Cost Effectiveness, and Applications. *Energy & Fuels*, 38(9), 7665–7692. <https://doi.org/10.1021/ACS.ENERGYFU-ELS.4C00409>

Singh, H., Li, C., Cheng, P., Wang, X., & Liu, Q. (2022). A critical review of technologies, costs, and projects for production of carbon-neutral liquid e-fuels from hydrogen and captured CO₂. *Energy Advances*, 1(9), 580–605. <https://doi.org/10.1039/D2YA00173J>

Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Overall, J., Sacchi, R., & Luderer, G. (2021). Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change* 2021 11:5, 11(5), 384–393. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7>

van de Berg, D., Savage, T., Petsagkourakis, P., Zhang, D., Shah, N., & del Rio-Chanona, E. A. (2022). Data-driven optimization for process systems engineering applications. *Chemical Engineering Science*, 248, 117135. <https://doi.org/10.1016/J.CES.2021.117135>

Wulf, C., Zapp, P., & Schreiber, A. (2020). Review of Power-to-X Demonstration Projects in Europe. *Frontiers in Energy Research*, 8, 547456. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2020.00191/BIBTEX>



Energía del Futuro: Baterías de Iones Metálicos

Israel Omar Pérez López

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación



¿Quién no conoce las baterías? Están en todos nuestros medios de transporte, dispositivos y aparatos electrónicos. Están en los autos de combustión, híbridos y eléctricos, en relojes, computadoras, teléfonos portátiles, aviones, bocinas inteligentes, instrumentos médicos y de medición, entre otros. Aunque las encontramos por todas partes muchas veces no distinguimos sus diferencias ni su importancia para el progreso de la sociedad.



[1] Pila de Volta. Imagen de dominio público.

Las primeras baterías se inventaron en el año 1799 por el investigador italiano Alessandro Volta con la llamada pila de Volta (ver Figura 1). En honor a este descubrimiento a la diferencia de potencial eléctrico por unidad de carga se le conoce como Voltaje y a la unidad que mide esta magnitud física se le llama Volt. El descubrimiento de la batería no solo trajo bastantes avances científicos y tecnológicos, sino que también fue el pilar para el nacimiento de otras áreas de la ciencia como la electroquímica. En términos de esta, las baterías son realmente celdas electroquímicas que almacenan energía en forma de energía química y que puede ser liberada en un circuito eléctrico como energía eléctrica. Este artículo aborda los principios de las baterías, sus materiales, aplicaciones y desafíos, ofreciendo una visión integral para comprender su relevancia científica y tecnológica en la sociedad moderna.

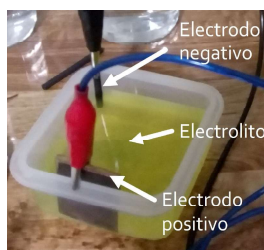
¿Son todas las baterías iguales?



[2] Imagen futurista de una batería recargable de ion metálico.

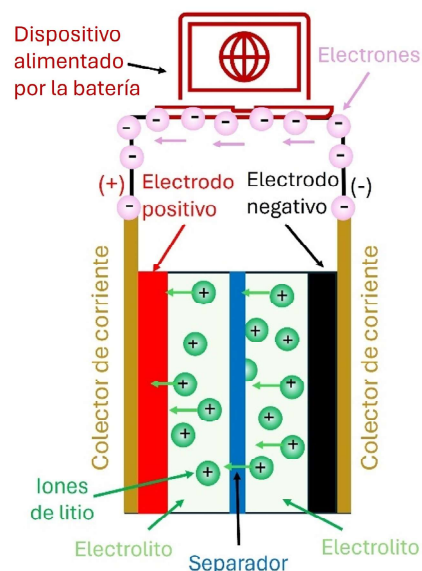
Las baterías se pueden clasificar desde varias perspectivas. Primeramente, en términos de los materiales que las conforman [1-5]. Por ejemplo, baterías de ácido-plomo, de mercurio-zinc, níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, polímero de litio, níquel-ferro, alcalina, litio, ion-litio, etc. También se clasifican en términos de su función en un dispositivo; por ejemplo, hay baterías de respaldo, baterías para arranque, de almacenamiento, etc. Y, por último, se clasifican en términos del número de recargas que pueden tolerar. Desde este enfoque se distinguen solo dos tipos de baterías, a saber: no recargables y recargables, que también se les conoce, respectivamente, como primarias y secundarias. Para propósitos de este artículo solo nos enfocaremos en las recargables ya que son las que han tenido mayor impacto en la sociedad contemporánea (Figura 2).

¿De qué están hechas las baterías?



[3] Celda voltaica, constituida por un electrodo positivo de cobre y otro negativo de grafito embebidos en un electrolito.

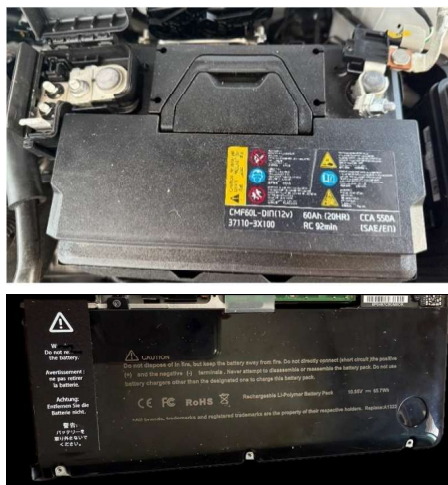
Las baterías recargables, en su noción más simple, están constituidas por solo tres componentes fundamentales: dos electrodos (típicamente de distinto material) y un electrolito [1,4,6]. Uno de los electrodos es positivo, el otro negativo y ambos están embebidos en el electrolito (ver Figura 3). La energía realmente está almacenada de forma química en los electrodos ya que un electrodo tiene un potencial eléctrico mayor que el otro y la diferencia de potencial entre los dos produce el voltaje entre ellos. Por su parte, el electrolito tiene la función de mantener un equilibrio electrostático entre los electrodos ya que cuando estos se conectan a un circuito electrónico externo para liberar esa energía, los electrones (de carga negativa) fluyen por dicho circuito y esto deja cargas positivas en un electrodo que deben trasladarse al otro para encontrarse con los electrones a fin de mantener el sistema eléctricamente neutro (ver Figura 4). Por esta razón si las cargas positivas no se retiran de los electrodos el flujo de electrones cesa toda vez que los potenciales de los electrodos se nivelan. Así, el electrolito es el responsable de que las cargas positivas fluyan de un electrodo a otro lo que permite que el flujo de electrones en el circuito se mantenga en los procesos de carga y descarga de la batería. A estas cargas positivas, en lo sucesivo, las llamaremos iones positivos, cationes o simplemente iones².



[4] Dibujo esquemático de los componentes de una batería recargable moderna.

Las baterías modernas siguen este mismo principio, pero se agregan algunos componentes adicionales que mejoran su desempeño y su seguridad (ver Figura 4). Se adiciona un separador en el electrolito que funcione como un filtro que tiene dos funciones^[1,5-8]. Primero, permite que pasen los cationes, evitando de esta forma que fluyan electrones a través del electrolito y, segundo, ayuda a separar físicamente los electrodos para evitar cortocircuitos. Además, se agrega un conductor eléctrico a cada electrodo, llamado colector de corriente, para que se mejore la transferencia de electrones durante los procesos de carga y descarga. Debemos hacer notar que en los textos es común encontrar los términos cátodo para el electrodo positivo y ánodo para el negativo. Estos términos son propios de celdas electroquímicas porque definen en donde ocurren las reacciones de oxidación-reducción, pero no son convenientes para baterías porque no indican cuál electrodo tiene mayor potencial eléctrico y en una batería esto es lo que distingue el electrodo positivo del negativo. Por eso, en lo sucesivo, solo utilizaremos los términos electrodo positivo y electrodo negativo.

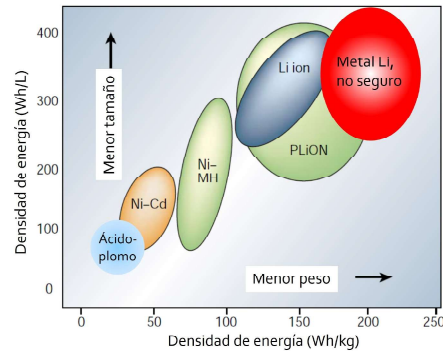
¿Qué tipos de baterías recargables hay?



[5] Izq. Batería de ácido-plomo en un auto de combustión interna. Der. Batería de ion-polímero de una laptop.

De entre de las baterías recargables existen baterías de distintos tipos^[1,6]. Una de las más populares son las de ácido-plomo (ver Figura 5) que están constituidas por un electrolito de ácido sulfúrico y dos placas de plomo como electrodos. Estas baterías son las que encontramos en los autos de combustión interna y se utilizan para arrancar el motor del auto a través de un motor eléctrico conocido como la marcha. Cuando giramos la llave del interruptor de encendido (o presionamos el botón de encendido), se energiza la marcha la cual a su vez da el impulso inicial al motor de combustión. Estas baterías están diseñadas para aportar un voltaje de 2.1 V por celda y cada batería contiene 6 celdas conectadas en serie para un voltaje total de 12.6 V. Así que ya lo sabes, si tu batería está en buenas condiciones debe medir este voltaje. Lo más importante de estas baterías para que cumplan su función es la corriente que deben liberar en pocos segundos.

La corriente es la cantidad de carga transportada por unidad de tiempo. Las corrientes dependen del tamaño de la batería y van desde los 400 CCA a los 900 CCA. Aquí CCA significa, del inglés, Cold Cranking Amps que corresponde a la corriente que la batería puede mantener a bajas temperaturas (-17.8 °C) por al menos 30 s. De entre las baterías recargables^[2], las de ácido-plomo son las de menor densidad energética (ver Figura 6).



[6] Clasificación de baterías secundarias en términos de su densidad de energía

Este parámetro es de los indicadores más importantes del desempeño de una batería porque nos da información sobre cuánta energía puede almacenar la batería en términos de la masa de los electrodos (densidad específica o gravimétrica) o en términos de su volumen (densidad volumétrica). Aquí la energía se mide en unidades de Watt multiplicado por hora (=60 min = 3600 s). Y un Watt es la unidad de potencia P que es la energía E dividida entre el tiempo t , es decir, $P=E/t$. Lo deseable entonces sería no solo que provea el voltaje y la corriente suficientes para alimentar un circuito, sino que pueda mantener esa energía por tiempos prolongados, lo cual es posible si la densidad de energía es grande.

Desde este punto de vista, podemos entonces entender a una batería como un dispositivo que almacena energía, como si fuese un contenedor y la energía un fluido llenando el contenedor. Cuando dejamos escapar el fluido el contenedor se vacía, lo que corresponde a una descarga y si lo rellenamos correspondería a una carga. Por ende, si somos capaces de almacenar energía en menor cantidad de materia o en menor espacio estaremos aumentando la densidad energética. La Figura 6 muestra la distribución de las baterías en términos de su densidad específica y su densidad de energía volumétrica para los distintos tipos de baterías recargables. Como hemos dicho las de ácido-plomo son las más bajas.

En segundo y tercer lugar, encontramos las baterías de Ni-Cd y Ni metal hidruro (Ni-MH), respectivamente, que se utilizan en dispositivos electrónicos y que permiten varios cientos de ciclos de recarga. Proveen un voltaje de 1.2 V por celda, pero tienen una densidad específica relativamente baja de entre 50 Wh/kg y 100 Wh/kg.

Finalmente, encontramos a las baterías de ion litio (ver Figura 5) que proveen un voltaje de 3.4 V a 3.7 V por celda y densidades específicas de 150 Wh/kg a 270 Wh/kg. Los ciclos de recarga van desde 500 hasta 1500 en promedio. El aumento en el número de ciclos, la estabilidad electroquímica y el aumento de densidad son algunas propiedades que se continúan investigando. Esto ha motivado a los científicos a buscar materiales avanzados capaces de aumentar estos parámetros, lo que ha resultado en el desarrollo de otras baterías basadas en iones de metales alcalinos como sodio, potasio y otros metales como aluminio, zinc y magnesio. Estas últimas son las que han alcanzado las densidades energéticas más altas. Pero ¿de qué están constituidos cada uno de sus componentes? Respondamos esta pregunta paso a paso.

Materiales de electrodos

Las baterías actuales están basadas en la tecnología de movilidad de iones metálicos y representan un pilar fundamental en la era de la movilidad eléctrica, dispositivos portátiles y sistemas de almacenamiento de energía renovable. Estas tecnologías se basan en la transferencia reversible de iones metálicos entre electrodos, permitiendo el almacenamiento y la liberación eficiente de energía eléctrica^[3-6]. Entre 1989 y 1996 los investigadores John Bannister Goodenough y Aruguman Manthiram, de la Universidad de Texas en Austin, demostraron que varios compuestos de litio, como LiFePO_4 , podían utilizarse como electrodos negativos en baterías con densidades de energía mayores a las alcanzadas anteriormente. En 1991, Sony lanzó al mercado la primera batería de ion litio. Aquí es importante mencionar que las primeras baterías comercializadas contaban con un electrodo positivo constituido por una barra de litio y un óxido de litio como electrodo negativo. El problema que surgió, y que fue muy común en la primera década de su lanzamiento, es que se creaban dendritas entre los electrodos que causaban cortocircuitos. A su vez, esto provocaba un aumento descontrolado en la temperatura que resultaba en reacciones químicas indeseables y explosiones espontáneas que ponían seriamente en peligro la integridad de los usuarios. Afortunadamente, estas baterías ya se han retirado del mercado y han sido reemplazadas por baterías con electrodos positivos de carbono o compuestos de silicio-carbono utilizando electrolitos basados en ion-litio. Aunque el problema se redujo considerablemente, las baterías de ion litio son más inestables que las de otros iones. Bajo este esquema, se han estudiado varios tipos de baterías de iones metálicos como potasio, sodio, magnesio y zinc. La Tabla 1 muestra información relevante de cada uno de los iones incluyendo el tipo de ion, carga eléctrica, abundancia (en partes por millón), el voltaje y la densidad de energía gravimétrica^[6].

Tabla 1. Propiedades eléctricas de las baterías de ion metálico

METAL	CATIÓN CARGA ABUNDANCIA (ppm)			POTENCIAL (V vs SHE)	DENSIDAD ENERGÉTICA (Wh/kg)
Litio (Li)	Li ⁺	+1	20	-3.04	250 - 270
Sodio (Na)	Na ⁺	+1	23 000	-2.71	90 - 160
Potasio (K)	K ⁺	+2	22 600	-2.93	80 - 140
Magnesio (Mg)	Mg ²⁺	+2	23 000	-2.37	220 - 260
Zinc (Zn)	Zn ²⁺	+2	70 000	-0.76	120 - 150

Electrodos negativos

Los electrodos negativos deben permitir una inserción y extracción reversible del catión metálico de y hacia la estructura atómica del electrodo, con alta capacidad y estabilidad^[2,4,5-6]. Los electrodos negativos basados en carbono, como grafito, son comunes en baterías de ion litio y sodio. En baterías como magnesio o zinc, se investigan materiales metálicos y compuestos especiales que eviten la formación de dendritas. Las baterías utilizadas en autos eléctricos, scooters y transportes eléctricos utilizan electrodos de compuestos de carbono dopados con silicio.

Electrodos positivos

Los electrodos positivos suelen ser óxidos metálicos, espinelas o fosfatos con estructuras cristalinas que alojan cationes metálicos^[2,4,5-6]. Estos tipos de baterías generan voltajes entre 3.1 V y 3.7 V. Los óxidos metálicos más comunes son LiNiO₂ y LiCoO₂, y combinaciones de estos (LiNi_{1-x}Co_xO₂) o dopados con metales como aluminio y manganeso, por ejemplo: LiNi_{0.8}Co_{0.15}Al_{0.05}O₂ y LiNi_{1-x-y}Mn_xCo_yO₂ a los que en el argot científico se les abrevia como NCA y NMC, respectivamente. Las densidades de energía van de 200 Wh/kg a 270 Wh/kg que son las densidades más altas. Estos son utilizados en baterías de transporte eléctrico entre ellos los autos eléctricos de marcas como Tesla. De entre los fosfatos se utilizan LiFePO₄ y espinelas como LiMn₂O₄, que también son aplicados en la industria de autos eléctricos, particularmente los autos producidos en China; entre ellos BYD. Las densidades de energía oscilan entre los 100 Wh/kg y 170 Wh/kg que son menores a las anteriores, pero también son menos costosas, lo que es un factor importante para la producción en masa. En cuanto a las baterías de ion-polímero, estas utilizan electrolitos sólidos de materiales compuestos de polímeros como polietileno óxido (PEO) mezclados con sales de litio como LiPF₆. Estas últimas son más estables, generan voltajes entre 3 V y 4.2 V, densidades entre 150-250 Wh/kg y se aplican en dispositivos móviles como laptops, tabletas, teléfonos inteligentes, bocinas, cámaras y otros dispositivos.

Colectores de corriente

Los materiales de los colectores de corriente para los electrodos positivos están hechos de aluminio, mientras que para los del electrodo negativo están hechos de cobre^[1,2,4].

Electrolitos

Como hemos dicho, el electrolito facilita el transporte iónico y separa físicamente los electrodos^[3]. Puede ser líquido con sales a base de metales alcalinos (LiPF₆, LiClO₄, KOH, NaPF₆) disueltas en disolventes orgánicos (dimetil o dietil carbonato, carbonato de etileno, carbonato de propileno, etc.) o acuosos. Uno de los parámetros más importantes de los electrolitos es la conductividad iónica que nos indica qué tan buen conductor de iones es un material. Mayor conductividad indica mayor efectividad para transportar los iones en el electrolito. Las unidades para medir la conductividad son los Siemens divididos por centímetro (S/cm). Los electrolitos líquidos exhiben conductividades iónicas que van de 0.001 S/cm a 0.01 S/cm. También existen en estado sólido de materiales cerámicos o polímeros con conductividades iónicas que van de 0.000 000 1 S/cm a 0.01 S/cm. Los electrolitos sólidos son más estables y seguros pero las conductividades iónicas son mucho más bajas que los líquidos, de ahí que se prefieran electrolitos líquidos en muchas de las baterías comerciales.

Cabe mencionar que en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez se desarrollan electrolitos cerámicos como el conocido LLZO que a través de métodos térmicos se espera aumentar su conductividad.

¿Cuántas recargas dura una batería?

Cuando compramos un dispositivo con baterías recargables es bueno saber que, aunque las baterías pueden recargarse muchas veces, en algún momento su vida terminará. La cantidad de recargas depende del tipo de batería en acuerdo con su diseño. La vida de una batería depende básicamente de un proceso de degradación en el que el transporte iónico entre electrodos se torna deficiente. La degradación de las baterías puede ocurrir por formación de dendritas (filamentos metálicos entre electrodos), cambios estructurales o reacciones indeseadas en electrodos y electrolitos.

La investigación actual en este rubro se enfoca en extender la vida útil mediante materiales nanoestructurados y electrolitos sólidos^[1]. Actualmente la vida útil de una batería secundaria oscila entre 500 y 1500 ciclos de carga-descarga, aunque en algunos casos especiales se han logrado hasta 3000 ciclos. Supongamos entonces que en promedio duran 1000 ciclos.

Esto quiere decir que si recargas tu celular o computadora casi todos los días tu batería durará entre 2 y 4 años. Por lo tanto, si deseas prolongar la vida de tu batería reduce al mínimo el número de recargas.

Como hemos visto, la capacidad, estabilidad y voltaje dependen del material específico de los electrodos. También hemos discutido algunos de los parámetros de desempeño más importantes como el voltaje, la corriente, la densidad energética y hemos agregado otro que es el costo. Adicional a esto, se debe considerar la estabilidad electroquímica que afecta el número de ciclos de vida y por ende la durabilidad del dispositivo. La **tabla 2** muestra un resumen de características para baterías de iones metálicos^[6].

Tabla 2. ↓

Notemos que las baterías de ion litio son las de mayor densidad, pero a la vez las de mayor costo. En segundo término, encontramos a las de magnesio con un costo medio. En relación con la durabilidad, todas son comparables; mientras que en términos de seguridad las de litio son las menos seguras. Evidentemente, se ha preferido dar prioridad a la comercialización de las baterías de ion litio por su mayor densidad energética, lo que indica que pueden liberar más energía por tiempos más prolongados por carga.

Reciclaje de baterías: un paso clave hacia la sustentabilidad energética

El reciclaje de baterías de iones metálicos es esencial para cerrar el ciclo de materiales críticos, reducir impactos ambientales y garantizar un suministro responsable para el futuro energético.

¿Por qué reciclar?

La filosofía del reciclaje debe ser incluida desde la concepción de la batería porque esto permitirá reducir costos, recuperar materiales, reducir contaminación y aumentar la eficiencia energética (ver **Figura 7**). A continuación, elaboramos un poco sobre estos aspectos^[6].

Tabla 2. Comparación de propiedades de desempeño de baterías de iones metálicos

PROPIEDAD	ION LITIO	ION SODIO	ION MAGNESIO	ION ZINC
Densidad energética (Wh/kg)	250 - 270	90 - 160	220 - 260	120 - 150
Vida útil (ciclos)	500 - 1 500	500 - 1 000	1000+	500 - 1 000
Seguridad	Media	Alta	Alta	Alta
Costo	Alto	Bajo	Medio	Bajo

- **Reutilización de metales estratégicos:** Componentes como litio, cobalto, níquel y manganeso tienen un alto valor económico y están sujetos a restricciones de suministro, por lo que recuperarlos evita su extracción continua.
- **Disminución de desechos tóxicos:** Estos materiales, si se desechan incorrectamente, pueden contaminar suelos y acuíferos; el reciclaje previene estos riesgos.
- **Eficiencia energética:** Procesar baterías usadas consume menos energía que extraer y procesar materia prima virgen. Los desechos no solo pueden reutilizarse para crear más baterías sino también para otros materiales que pueden ser aplicados a otras áreas. Por ejemplo, en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez se ha utilizado el óxido de manganeso extraído de baterías usadas para crear fibras que absorben el aceite de aguas contaminadas.



[7] Proceso de reciclaje de baterías.

Etapas del reciclaje eficiente

1. **Recolección y clasificación:** Las baterías se recogen en centros especializados y se agrupan según química (Li-ion, Na-ion, Mg-ion...). Una correcta separación es vital para optimizar el proceso.
2. **Desmontaje y desensamblaje:** Se extraen piezas como carcasas y componentes electrónicos para reciclarlos por separado. Luego, las celdas se procesan para recuperar electrodos y electrolitos.
3. **Técnicas de extracción:**
 - **Hidrometalurgia:** Uso de soluciones químicas (ácidos, bases, agentes quelantes) para disolver los metales, recuperándolos luego por precipitación o electro obtención con altos grados de pureza.
 - **Pirometalurgia:** Combustión controlada para separar metales valiosos; más rápida pero menos sustentable por emisiones de CO₂.
 - **Reciclaje directo:** Extracción de materiales activos del electrodo sin pasar por disolución, manteniendo su integridad y reduciendo el uso de reactivos.
4. **Refinación y reintegro:** Los metales extraídos (Li, Co, Ni, Mn, etc.) se purifican y pueden incorporarse nuevamente en líneas de producción de baterías.

Desafíos actuales en el reciclado

- **Diversidad química:** La amplia variedad de formulaciones (litio, sodio, magnesio, etc.) requiere procesos adaptados, lo que hace difícil la estandarización.
- **Logística de recolección:** Se necesitan redes eficientes y regulaciones claras para evitar que las baterías lleguen a vertederos comunes.
- **Costos elevados:** El reciclaje hidrometalúrgico puede tener costos superiores a la extracción de mineral virgen, a pesar de sus beneficios ecológicos.
- **Seguridad operativa:** Manipular baterías usadas implica riesgos de incendios y exposición a electrolitos tóxicos.

Desafíos en el desarrollo de baterías de ion metálico

- A pesar de los grandes avances realizados en los últimos 225 años de existencia de las baterías aún hay mucho trabajo por realizar. Es indudable que las baterías se han mejorado enormemente, pero, aunque parezca increíble, aún no han quedado aclarados los mecanismos atómicos y estructurales por los cuales funcionan las baterías. Esto se debe a la complejidad de estudiar la cinética atómica durante los procesos de carga-descarga, aspecto que continua en investigación. A manera de resumen, los principales retos que prevalecen en la ciencia y tecnología de las baterías son los siguientes.
- **Seguridad:** Riesgo de sobrecalentamiento, cortocircuitos o incendios, sobre todo en baterías de alta densidad energética.
 - **Costo de materiales:** Algunos metales como el cobalto y el litio son caros, escasos o tienen problemas éticos de extracción.
 - **Sostenibilidad:** Se buscan alternativas con metales más abundantes (como sodio o magnesio) para reducir impacto ambiental y geopolítico.
 - **Ciclo de vida:** Degradación con los ciclos de carga/descarga, especialmente en condiciones extremas de uso.
 - **Densidad energética:** Aumentar la cantidad de energía almacenada sin comprometer seguridad o estabilidad.
 - **Reciclaje:** Procesos aún ineficientes o costosos para recuperar materiales activos.
 - **Electrolitos sólidos:** Aunque más seguros, aún presentan problemas de conductividad iónica y fabricación a gran escala

[1] Electrochemical Power Sources, Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors, Vladimir Bagotsky, Alexander Skundin, Yuri VolfKovich, Wiley, 2015

[2] J. M. Tarascon y M. Armand, Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 2001, 414, 359.

[3] Kang Hu, Nonaqueous Liquid Electrolytes for Lithium-Based Rechargeable Batteries, *Chem. Rev.* 2004, 104, 4303.

[4] Bruno Scrosati, Jürgen Garche, Lithium batteries: Status, prospects and future, *J. Power Sources*, 2010, 195, 2419.

[5] Da Deng, Li-ion batteries: basics, progress, and challenges, *Ene. Sci. Engin.* 2015, 3,385

[6] Mahammad A. Hannan et al. State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations, *IEEE Access*, 2018, 6, 19632.

[7] Jian Gao et al. Brief overview of electrochemical potential in lithium ion batteries, *Chin. Phys. B*, 2016, 25, 018210.

[8] A. Li et al. A Review on Lithium-Ion Battery Separators towards Enhanced Safety Performances and Modelling Approaches, *Molecules*, 2021, 26, 478

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades eléctricas de las baterías de ion metálico 37

Tabla 2. Comparación de propiedades de desempeño de baterías de iones metálicos 38

Índice de Figuras

Figura 1. Pila de Volta. Imagen de dominio público 35

Figura 2. Imagen futurista de una batería recargable de ion metálico 35

Figura 3. Celda voltaica, constituida por un electrodo positivo de cobre y otro negativo de grafito embebidos en un electrolito 35

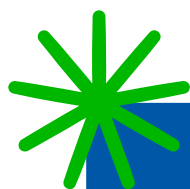
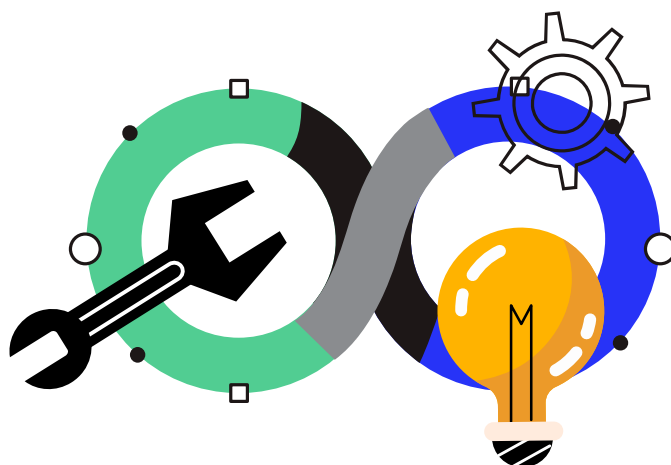
Figura 4. Dibujo esquemático de los componentes de una batería recargable moderna 35

Figura 5. Izq. Batería de ácido-plomo en un auto de combustión interna. Der. Batería de ion-polímero de una laptop 36

Figura 6. Clasificación de baterías secundarias en términos de su densidad de energía 36

Figura 7. Proceso de reciclaje de baterías 38





PARTE III.

Difusión de programas del
Instituto de Innovación y
Competitividad



MÁS CHIHUAHUA
más de lo bueno
GOBIERNO DEL ESTADO

INSTITUTO DE
INNOVACIÓN Y
COMPETITIVIDAD





SISTEMA ESTATAL DE INVESTIGADORES:

Impulsando el talento científico de Chihuahua

El fortalecimiento del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación en Chihuahua requiere de una comunidad académica sólida, articulada y con visión de futuro. Con este propósito, el Instituto de Innovación y Competitividad impulsa el Sistema Estatal de Investigadores (SEI), una iniciativa estratégica que reconoce la excelencia científica y tecnológica de las y los especialistas que contribuyen al desarrollo del estado.

El SEI está dirigido a investigadores, tecnólogos, académicos, instituciones educativas, centros de investigación y empresas que realizan actividades de generación de conocimiento, innovación, desarrollo tecnológico, divulgación y formación de talento. A través de diversas categorías —que van desde estudiantes con actividad científica hasta investigadores de trayectoria eminente— el sistema permite integrar a la comunidad en un mecanismo formal de reconocimiento, evaluación y vinculación.

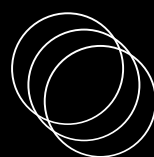
Formar parte del SEI no solo representa un distintivo de calidad y trayectoria profesional, sino que también brinda la oportunidad de integrarse al Banco de Evaluadores del Fondo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación (FECTI), acceder a oportunidades de colaboración y participar activamente en las estrategias que impulsan el avance científico y tecnológico de Chihuahua.

Con esta iniciativa, el Gobierno del Estado reafirma su compromiso con el talento que transforma el conocimiento en bienestar, competitividad y desarrollo regional. El SEI es, en esencia, una plataforma para potenciar el liderazgo científico de Chihuahua y para consolidar una comunidad capaz de proponer soluciones a los grandes retos del presente.

Las bases completas del programa pueden consultarse en el sitio oficial del Instituto de Innovación y Competitividad:

<https://i2c.com.mx/>





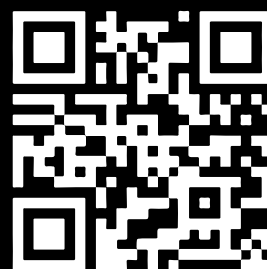
Ciencia
Tecnología
Innovación

REVISTA CREADA POR EL INSTITUTO DE INNOVACIÓN Y COMPETITIVIDAD



RAKÉ CIENCIA TECNOLOGÍA INNOVACIÓN
REVISTA DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.

@i2c.mx / T. +52 (656) 629 3300 EXT 54931
/ CJS, MEX © 2025



MÁS CHIHUAHUA
más de lo bueno
GOBIERNO DEL ESTADO

INSTITUTO DE
INNOVACIÓN Y
COMPETITIVIDAD